

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERIA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

**“DISEÑO DE UNA RED WIFI DE LARGO ALCANCE CON TECNOLOGÍA TDMA. CASO DE ESTUDIO
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ SEDE LODANA CANTÓN SANTA ANA”**

JESSICA MABEL TOALA SILVA

Quito – 2016

AUTORÍA

Yo, **JESSICA MABEL TOALA SILVA**, portador de la cédula de ciudadanía No. **131185320-2**, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

JESSICA MABEL TOALA SILVA

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA.....	i
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. ANTECEDENTES.....	5
4. OBJETIVOS	6
4.1. OBJETIVO GENERAL	6
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
5. DESARROLLO CASO DE ESTUDIO	7
5.1. ANALIZAR EL ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INALÁMBRICAS PARA LARGAS DISTANCIAS.....	7
5.1.1. REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICA WLAN.....	7
5.1.1.1. CARACTERÍSTICAS WLAN.....	8
5.1.1.2. IEEE 802.11 WLAN	10
5.1.1.3. TECNOLOGÍA WI-FI.....	10
5.1.1.4. TOPOLOGÍA DE RED WIFI.....	12
5.1.1.4.1. ENLACE PUNTO A PUNTO.....	13
5.1.1.4.2. ENLACE PUNTO A MULTIPUNTO	14
5.1.1.4.3. ENLACE MULTIPUNTO A MULTIPUNTO	16
5.1.1.5. WI-FI DE LARGO ALCANCE.....	17
5.2. INVESTIGAR LAS TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA WIFI CON TDMA, UTILIZADA EN ENLACES DE LARGAS DISTANCIAS.....	21
5.2.1. WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS	21
5.2.2. ARQUITECTURA DE RED WILD	23
5.2.3. PROTOCOLOS MAC PARA REDES WILD	25
5.2.4. TDMA BASADO EN PROTOCOLOS MAC	27
5.2.4.1. PROTOCOLO 2P.....	28
5.2.4.2. WILDNET.....	28
5.2.4.3. JAZZYMAL.....	29

5.2.4.4.	JALDI MAC.....	29
5.2.4.5.	TDMA MAC CENTRALIZADA MULTI-SALTO PARA REDES WILD.....	31
5.2.4.6.	TDMA MAC MULTI-CANALES PARA REDES WILD.....	31
5.2.5.	TEMAS DE INVESTIGACIÓN DE REDES WiLD-TDMA basada en PROTOCOLOS MAC	32
5.2.5.1.	SOPORTE PARA PROGRAMACIÓN TDMA MULTI-HOP	32
5.2.5.2.	CALIDAD DE SERVICIO (QOS) DE APROVISIONAMIENTO.....	33
5.2.5.2.1.	ESTRICTO RETARDO END-TO-END.....	33
5.2.5.2.2.	RENDIMIENTO PUNTO-TO-PUNTO.....	34
5.2.5.2.3.	NIVEL DE PROGRAMACIÓN DE PAQUETES	34
5.2.5.3.	CONSIDERACIÓN DE VARIOS CANALES DE RADIO DE MÚLTIPLES.....	35
5.2.5.4.	FIABILIDAD MEJORA EL USO DE VARIAS PUERTAS DE ENLACE	35
5.3.	TÉCNICAS DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO CSMA/CA VS TDMA.....	36
5.3.1.	CSMA/CA.....	36
5.3.1.1.	DEFINICIÓN	36
5.3.1.2.	CARACTERÍSTICAS	37
5.3.1.3.	APLICACIÓN.....	38
5.3.1.4.	LIMITACIÓN EN EL CSMA.....	38
5.3.2.	TDMA	39
5.3.2.1.	DEFINICIÓN	39
5.3.2.2.	APLICACIÓN.....	39
5.3.2.3.	ACCESOS DE CONTROL.....	39
5.3.2.4.	RENDIMIENTO DE LA RED.....	40
5.3.3.	COMPARACIÓN ENTRE CSMA/CA vs TDMA.	40
5.3.3.1.	SOLUCIONES DE TDMA CONTRA CSMA	42
5.3.3.1.1.	ACKs A GRANEL.....	42
5.3.3.1.2.	DISEÑO DE TDMA EN ENTORNOS CON PÉRDIDAS.....	42
5.3.3.1.3.	MANEJO TASAS ALTAS DE PÉRDIDA DE PAQUETES	43
5.3.3.2.	MÉTRICAS DE RENDIMIENTO.....	43
5.3.3.3.	RENDIMIENTO DE CSMA / CA Y TDMA EN RED WILD.....	44
5.3.3.3.1.	ALTA PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE PAQUETES	45
5.3.3.3.2.	MECANISMO DE CONFIRMACIÓN, INEFICIENTE	45
5.3.3.3.3.	INTERFERENCIA.....	46
5.3.3.4.	VENTAJA DEL TDMA SOBRE CSMA/CA.....	47

5.4.	ANALIZAR EL DESEMPEÑO DE LA RED MEDIANTE EL MONITOREO DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS: PÉRDIDA DE PAQUETES, RETARDO.	47
5.4.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA RED	47
5.4.2.	MONITOREO DEL ENLACE DE DATOS UTM PORTOVIEJO-LODANA.....	48
5.4.2.1.	DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL MARCO (MTU).....	52
5.4.2.2.	TRÁFICO EN UN CIERTO PAZO - BITS	55
5.4.2.3.	PRINCIPALES FUENTES DE MAC.....	56
5.5.	DISEÑO DE LA RED WIFI CON TDMA.....	63
5.5.1.	ESTUDIO DE LOS SECTORES CONSIDERADOS EN LA RED.....	63
5.5.2.	PLANOS DEL DISEÑO DE LAS TORRES.....	65
5.5.2.1.	TORRES VENTADAS	66
5.5.2.2.	MONTAJES DE LOS EQUIPOS EN LA TORRE.....	69
5.5.3.	PROPUESTA DE EQUIPOS PARA LOS ENLACES	70
5.5.3.1.	ANTENA.	70
5.5.3.2.	ESTACIÓN BASE AIRMAX.....	73
5.5.3.3.	CABLE PIGTAIL	73
5.5.4.	DISEÑO DE LA RED WIFI DE LARGA DISTANCIA.	74
5.6.	SIMULACIÓN DEL DISEÑO Y EL ENLACE MEDIANTE SOFTWARE.....	75
5.6.1.	SIMULACIÓN DEL DISEÑO WILD.	75
5.6.1.1.	RADIO MOBILE.....	75
5.6.1.2.	ENLACE UTM-LODANA.	76
5.6.1.3.	ENLACE LODANA- UTM.	79
5.6.2.	SIMULACIÓN DEL ENLACE, MEDIANTE NS-3.	81
5.6.2.1.	NS-3	81
5.6.2.2.	NS-3 EN ENLACES DE LARGAS DISTANCIAS.	83
5.6.2.3.	PARAMETRIZACIÓN DEL SIMULADOR.	84
5.6.2.4.	PRUEBAS DE LOS ENLACES	86
5.6.2.5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	87
5.6.2.5.1.	MEDICIÓN DEL THROUGHPUT DEL ENLACE.....	88
5.6.2.5.2.	LATENCIA EN LA SIMULACIÓN DEL ENLACE.....	90
5.6.2.5.3.	JITTER EN LA SIMULACIÓN DEL ENLACE.....	90
5.6.2.5.4.	PAQUETES PERDIDOS EN LA SIMULACIÓN DEL ENLACE.....	91
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
6.1.	CONCLUSIONES	92

6.2. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de enlace Punto a Punto.....	13
Figura 2: Enlace Punto-Multipunto	15
Figura 3: Esquema multipunto a multipunto	16
Figura 4: La red Ashwini, Andhra Pradesh, India	18
Figura 5: Arquitectura de red típica WILD	25
Figura 6: Comprobando conectividad del enlace de datos	49
Figura 7: Análisis del tráfico de la red con Wireshark	50
Figura 8: Análisis de tráfico de paquetes.....	51
Figura 9: Tráfico total en bytes dividido por tamaño del paquete.....	52
Figura 10: Número total de paquetes de diferentes tamaños.....	53
Figura 11: Tamaño de la trama media, máximo, y mínimo en el tiempo.....	54
Figura 12: Ancho de banda en el tiempo, en bits por segundo.....	55
Figura 13: Fuentes superior MAC en los bits.....	56
Figura 14: Los destinos principales MAC en bits.	57
Figura 15: Anillo de conversación con los puntos finales y conversaciones MAC	58
Figura 16: Porcentaje relativo de Unicast, Multicast y el tráfico de Broadcast	59
Figura 17: Cantidad de bits transferidos en la red	60
Figura 18: Tráfico enviado y recibido por el anfitrión	61
Figura 19: Conversaciones entre los clientes de MAC, IP, TCP, UDP e ICMP	62
Figura 20: Predios de la Universidad Técnica de Manabí.....	63
Figura 21: Extensión de la UTM, Lodana cantón Santa Ana.....	64
Figura 22 Ubicación geo-referenciada de los nodos del enlace UTM-Lodana.	64
Figura 23: Ubicación de los nodos del enlace mediante google earth.....	66
Figura 24: Arquitectura de una Torre Ventada.....	68
Figura 25: Esquema Maestro- Esclavo	69
Figura 26: Antena Rocketdish de ubiquiti.....	72
Figura 27: Estación Base <i>Rocket M</i> de <i>Ubiquiti</i>	73
Figura 28 Cable coaxial (Pigtail) para <i>RocketM</i>	74
Figura 29: Diseño de la Red Wi-Fi UTM-Lodana.	74
Figura 30: Entorno de Radio Mobile.....	76
Figura 31: Administración de Red de la Simulación.....	76
Figura 32: Perfil topográfico del enlace UTM-Lodana mediante Radio Mobile	78

Figura 33: Enlace UTM-Lodana, mediante Google Earth.	78
Figura 34: Perfil topográfico del enlace Lodana- UTM mediante Radio Mobile.	80
Figura 35: Enlace UTM-Lodana, mediante Google Earth.	80
Figura 36: Simulación del Enlace UTM-Lodana, Ubuiquiti.	81
Figura 37: Parámetros de la simulación.	86
Figura 38: Resultados de la Simulación del enlace UTM-Lodana.	88
Figura 39: Throughput del enlace UTM-Lodana con paquete de 1500 bytes.	89
Figura 40: Throughput del enlace UTM-Lodana con paquete de 2048 bytes.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métricas de Rendimiento CSMA vs TDMA.....	43
Tabla 2: Distribución de Ancho de Banda	48
Tabla 3: Asignación de Direcciones IP de la UTM.....	48
Tabla 4: Información Geo-referencial del Enlace UTM-Lodana.	65
Tabla 5: Resultados de la simulación del Enlace UTM-Lodana en Radio Mobile.	77
Tabla 6: Resultados de la simulación del Enlace UTM-Lodana en Radio Mobile.	79
Tabla 7: Parámetros principales de la Red UTM-Lodana.	84
Tabla 8: Características y configuraciones principales del script.....	84
Tabla 9: Parámetros MCS para 20 MHz.	85
Tabla 10: Descripción de las variables usadas en la simulación del enlace WiLD, UTM-Lodana.	86
Tabla 11: Latencia en la simulación del enlace UTM-Lodana.....	90
Tabla 12: Jitter en la simulación del enlace UTM-Lodana.	91
Tabla 13: Paquetes Perdidos en la simulación del enlace UTM-Lodana.	91

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad han quedado atrás los días en que la conectividad a Internet se considera un lujo reservado para los ciudadanos urbanos de un país. Los gobiernos de todo el mundo se han dado cuenta de la importancia de proporcionar conectividad para la población rural con el objetivo de brindar mejores condiciones de vida y un mejor conocimiento del mundo. Muchas regiones especialmente en las zonas rurales, requieren soluciones de conectividad de red de bajo costo. Las conexiones tradicionales basadas en el teléfono, celular por satélite o fibra han demostrado ser una propuesta costosa, especialmente en regiones de baja densidad de población y de bajos ingresos.

En los últimos tiempos, Wi-Fi se ha convertido un medio rentable para proporcionar conectividad a internet en zonas rurales o remotas utilizando enlaces de larga distancia. Sin embargo, Wi-Fi fue diseñado originalmente para soportar redes de área local inalámbricas (WLAN) para la comunicación de corto alcance.

La norma generalizada para redes WLAN, IEEE 802.11b / funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz g, es uno de los estándares inalámbricos más populares. Las operaciones sin licencia en la banda ISM y una variedad de productos de hardware disponibles a bajo costo IEEE 802.11 hacen de WiFi una atractiva y económica alternativa de comunicación para uso rural. Sin embargo, las redes WIFI trabajan por defecto con el protocolo CSMA/CA, que resulta ser poco adecuado para enlaces de larga distancia ya que son muy poco fiables debido a factores tales como el desvanecimiento de la señal y la interferencia, lo que limita el rendimiento global de la red. En esta investigación se propone utilizar el protocolo TDMA como una alternativa a CSMA / CA.

El protocolo TDMA (Time Division Multiple Access) proporciona buenas soluciones a la correlación de tráfico, colisión, contención y problemas de cambio de canal en la base.

También permite usuario compartir el mismo canal de frecuencia dividiendo la señal en diferentes ranuras de tiempo. Cada usuario usa el turno en un round robin para la transmisión y recepción en el canal.

Algunos de los objetivos de la investigación son para mejorar aún más el rendimiento de la red en la comunicación de larga distancia, especialmente para aumentar el rendimiento de la red, reducir la latencia mediante la mejora de la utilización del espectro.

2. JUSTIFICACIÓN

Desde el desarrollo de la tecnología Wi-Fi, grandes saltos en la tecnología se han hecho. En el área de alcance de Wi-Fi se ha llevado a un extremo, tanto para aplicaciones comerciales y residenciales de Wi-Fi de larga distancia han surgido en todo el mundo. También se ha utilizado en pruebas experimentales en el mundo en desarrollo para vincular a las comunidades separadas geográficamente, con pocas o ninguna opción de conectividad.

La Universidad Técnica de Manabí cuenta con tres extensiones o sedes: Las extensiones de ciencias Zootécnicas (cantón Chone), Ingeniería Agronómica (cantón Santa Ana) y Acuicultura cantón Sucre), las cuales cuentan con redes inalámbricas en forma individual. El objetivo principal de este proyecto es diseñar una red WiFi de largo alcance utilizando el protocolo TDMA que permite conectividad entre la sede principal de la Universidad Técnica de Manabí ubicada en el cantón Portoviejo con la extensión de la facultad de Ingeniería Agronómica ubicada en el cantón Santa Ana. También se realizará un estudio comparativo entre las técnicas de control de acceso al medio CSMA/CA y TDMA. Además se utilizará un software de simulación para cotejar el throughput del diseño de la red.

La presente investigación toma muy en cuenta que las tecnologías inalámbricas, permiten un rápido desarrollo y despliegue de infraestructuras de comunicaciones, reduciendo el costo de la inversión. El desarrollo que tendrá la comunidad universitaria es muy bueno, al vincular a las sedes separadas geográficamente con características propias de nuestro país, las cuales poseen pocas opciones de conectividad. Las TIC tienen un gran potencial para reducir la brecha de acceso a los servicios de salud (telemedicina), educación y comunicaciones. WiFi de Larga Distancia se utiliza por el bajo costo, como

una alternativa a las redes celulares o enlaces por satélite. Las redes inalámbricas basadas en modificaciones de la tecnología WiFi pueden ser diseñadas, instaladas y mantenidas por las propias comunidades interesadas en usarlas, pues no necesitan de grandes inversiones ni de personal técnico altamente especializado.

Por las razones anteriormente mencionadas es importante realizar la investigación propuesta, ya que con las redes inalámbricas con capacidad para establecer un enlace de larga distancia, permitirán mayor alcance a los 50 km dados por WiFi, facilidad de implementación y costos bajos en la implementación. Se considera que la investigación es factible porque se cuenta con los conocimientos, recursos técnicos, materiales, metodología, y las herramientas de software para la evaluación de la red, la cual proporcionará facilidad y bajos costos para su implementación.

3. ANTECEDENTES

La última década ha visto revolución de la comunicación en la forma de la telefonía celular, así como la Internet, pero gran parte de ella se ha limitado a los países desarrollados. Mientras que el uso de las tecnologías celulares puede reducir el tiempo de implementación de redes de acceso, la economía de costos hace que este no coadyuve el crecimiento de las economías de telecomunicaciones. En esta investigación se explorará el uso de 802.11 mediante TDMA, como una tecnología de acceso de larga distancia. El costo del hardware WIFI es de bajo costo y el despliegue en zonas distantes es rápido.

La Universidad Técnica de Manabí está ubicada en el centro-Norte de la ciudad de Portoviejo de la Provincia de Manabí. Esta alma mater posee varias extensiones a nivel de la provincia en las cuales existen diferentes carreras, para efectos del desarrollo de esta investigación se pretende realizar un enlace WIFI de larga distancia desde la UTM-Portoviejo hasta la extensión Lodana ubicada en la ciudad de Santana a 15 Km de Distancia.

“Existen varias investigaciones e implementaciones de enlaces WIFI con TDMA, dando buenos resultados, algunos trabajos realizados por otros grupos de investigación como el Digital Gangetic Plains (DGP) en India, o el Technology and Infrastructure for Emerging Regions (TIER) en Estados Unidos, han demostrado que se pueden realizar enlaces PtP (punto a punto) de varias decenas de kilómetros sobre hardware WiFi obteniendo prestaciones razonables, Ambas aproximaciones se basan en reemplazar el protocolo CSMA/CA del MAC por un protocolo TDMA. Estas soluciones permiten subsanar fundamentalmente dos problemas: por un lado evitan las ineficiencias inherentes al hecho de usar CSMA/CA en largas distancias, y, por otro, evitar las interferencias internas en un nodo IEEE 802.11 con múltiples interfaces.” (Naranja Cobo, 2012)

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una red WiFi de largo alcance con Tecnología TDMA, en la Universidad Técnica de Manabí Sede Lodana del Cantón Santa Ana.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado del arte de la infraestructura de red de comunicaciones de la UTM.
- Investigar las tecnologías de comunicación inalámbrica WiFi con TDMA, utilizada en enlaces de largas distancias.
- Realizar un análisis comparativo de las técnicas de control de acceso al medio CSMA/CA vs TDMA.
- Analizar el desempeño de la red mediante el monitoreo de los siguientes parámetros: pérdida de paquetes, retardo.
- Proponer el diseño de una red WiFi de largo alcance, utilizando TDMA.
- Utilizar software de simulación, para mostrar el throughput del diseño de la red WiFi con TDMA.

5. DESARROLLO CASO DE ESTUDIO

5.1. ANALIZAR EL ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INALÁMBRICAS PARA LARGAS DISTANCIAS.

5.1.1. REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICA WLAN

“En la clasificación de redes se menciona la WLAN que esta proporciona la comodidad de una instalación sin cables junto con el descenso significativo de los costes de fabricación ha redundado en un importante auge de las comunicaciones telemáticas inalámbricas.” (Abad Domingo, 2012, pág. 11)

“Una WLAN tiene muchas ventajas pero también inconvenientes:

- Al ser aéreo el medio de transmisión y, por tanto abierto a cualquier dispositivo que se encuentre en las cercanías, las redes inalámbricas exponen una mayor superficie de ataque, lo que brinda más posibilidades a los crackers.
- Como el canal de transmisión es compartido por todas las estaciones, los sistemas inalámbricos tienen que multiplexar las señales de transmisión repartiendo el ancho de banda del canal entre todas las estaciones inalámbricas, lo que frecuentemente produce situaciones de congestión.

La seguridad es siempre importante en toda comunicación, pero cobra un especial relieve en las redes inalámbricas. Esto, a veces, complica las instalaciones, reduciendo la gran ventaja que tienen de no tener que instalar cables para conectar en red los equipos.” (Abad Domingo, 2012, pág. 11)

Haciendo énfasis respecto a las ventajas e inconvenientes de las WLAN se recalca la flexibilidad que ésta tiene al no necesitar un cable para poder acceder al internet, a pesar de esto el costo de las WLAN es muy elevado.

“Existen situaciones en las que resulta imposible o inviable utilizar cables para conectarse a la red. Este es el caso, por ejemplo, de la conexión de dispositivos con movilidad a la red, como portátiles, PDA o Tablet PC: la improvisación de una red para un uso puntual en una feria, congreso o incluso en una situación de emergencia o catástrofe; o la dotación de acceso a Internet a cuantos usuarios lo requieran en una biblioteca, cafetería, hotel, aeropuerto, plaza, etc. En caso será necesario el uso de tecnologías de red inalámbricas.

Hasta no hace mucho, los dispositivos debían conectarse físicamente a la red, sin embargo hoy en día la red es capaz de llegar hasta los propios dispositivos.

Una red inalámbrica es aquella en que los distintos equipos se interconectan entre sí sin necesidad de cables. La comunicación entre dispositivos inalámbricos se produce mediante ondas electromagnéticas.” (Castaños Ribes & López Fernández, 2013, pág. 251)

5.1.1.1. CARACTERÍSTICAS WLAN

“Las principales características de las WLAN son las siguientes:

- ✓ Naturaleza de la señal: las redes inalámbricas no utilizan señales electromagnéticas para transmitir los datos.
- ✓ Medio o canal: las redes inalámbricas no utilizan cables de ningún tipo, sino que las señales se propagan por el espacio y son capaces de atravesar una gran variedad de materiales.
- ✓ Antenas: todos los dispositivos inalámbricos deberían disponer de ellas.
- ✓ Alcance: las WLAN tienen un enlace limitado. A medida que las señales electromagnéticas atraviesan un determinado material (incluso el aire), su

intensidad disminuye. El tipo y sensibilidad de emisión, la tecnología de modulación y el tipo de sensibilidad de las antenas determinarán el alcance (o cobertura) de los dispositivos de la red.

- ✓ Capacidad: las WLAN tienen una capacidad limitada. No pueden existir a la vez señales que utilicen el mismo tipo de ondas en una misma zona, ya que se mezclarían y no podrían interpretarse. Por esta razón, en una zona y momento determinados, solo puede emitir un único dispositivo de la WLAN (o de otras WLAN con el mismo tipo de ondas).
- ✓ Velocidad de transmisión: las WLAN tienen una velocidad de transmisión limitada. El hecho de que su capacidad sea limitada también afecta a la velocidad, ya que en una zona y WLAN determinadas, hasta que no finaliza una transmisión no se puede iniciar otra.
- ✓ Otros factores que incluyen en la velocidad son el ruido, las interferencias y las pérdidas de intensidad, ya que si son intensas las señales que se envían son más robustas, pero ocupan mayor espacio y, por lo tanto, la velocidad de transmisión disminuye.
- ✓ Movilidad: las WLAN permiten la existencia de dispositivos móviles.
- ✓ Como no necesita cables, los dispositivos no están obligados a permanecer en una zona concreta, por lo que pueden moverse libremente por toda la zona de cobertura de la WLAN.
- ✓ Escalabilidad: las redes inalámbricas son fácilmente escalables. La escalabilidad es la capacidad de crecer si la red lo necesita. Ampliar una WLAN es tan fácil como añadir más puntos de acceso allá donde se necesiten.”
(Castaños Ribes & López Fernández, 2013, pág. 252)

5.1.1.2. IEEE 802.11 WLAN

“Ilustra que al igual que en su día ocurrió con las redes cableadas, para unificar criterios de fabricación, compatibilidades entre componentes y evitar los sistemas propietarios, se ha creado un estándar.

El primer estándar 802.11 se concretó en 1997 y se revisó en 1999. Con respecto al modelo de referencia OSI, este estándar define la Capa 1 Física y la subcapa MAC de acceso al medio (dentro de la Capa 2 de Enlace). El resto de la capa de enlace (subcapa LLC) se mantiene como en la mayoría de los protocolos definidos por el IEEE dentro del estándar 802.2. esto tiene la gran ventaja de hacer compatible la IEEE 802.11 WLAN con el resto de redes IEEE y favorecer su interconexión.

Actualmente la mayoría de las WLAN que se comercializan están dentro del estándar 802.11b, que es un complemento al estándar inicial con modificaciones en la definición de la capa física.

Existen hoy en día varios Grupos de Trabajo (Task Groups) que intentan mejorar el estándar en cuanto a Calidad de Servicio, seguridad, velocidad, otros.” (Oliva Alonso & et al., 2007, pág. 156)

5.1.1.3. TECNOLOGÍA WI-FI

“Esta tecnología tiene sus antecedentes en la creación del grupo de trabajo 802.11 del Comité de Estándares IEEE 802. WiFi es un nombre comercial desarrollado por un grupo llamado Wi-Fi Alliance. Dicha organización adopta, prueba y certifica los equipos que cumplen los estándares IEEE 802.11. El primer estándar que se estableció correspondió a las WLAN (Wireless Local Area Network) y la publicación de IEEE 802.11 en junio de 1997” (Alcivar Cedeño, 2014)

“La familia de estándares IEEE 802.11 (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n), tiene asignadas las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2.4002.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz. Alcanza velocidades de entre 1 y 11 Mbps para 802.11b y hasta 54 Mbps para 802.11a/g. La versión 802.11n soporta una velocidad de transferencia máxima de 300 Mbps (80-100 Mbps estables).” (Alcivar Cedeño, 2014)

“Las tipologías habituales de operación de una red WiFi son iguales que las de una cableada. La diferencia es que WiFi utiliza el aire como medio de transmisión. Los componentes básicos de una red WiFi son:

- El punto de acceso (AP): es la unión entre las redes con cableado y la red WiFi, o entre diversas zonas cubiertas por redes WiFi, que actúa entonces como repetidor de la señal entre estas zonas (celdas).
- Unas o más antenas conectadas al punto de acceso: donde cada una de ellas presenta características geométricas que provocan que envíe la energía electromagnética en determinadas trayectorias del espacio. Las antenas omnidireccionales emiten en todas direcciones mientras que las antenas sectoriales u otros más direccionales todavía, como el caso de las parabólicas, disminuyen gradualmente la sección angular a la que envían. Al agrupar la energía transmitida (o receptada), es posible conseguir transmisiones entre antenas a mayor alcance. Una antena omnidireccional, en cambio, ofrece una superficie de cobertura más extendida.” (Alcivar Cedeño, 2014)

“Establecer la clase y cantidad de antenas que debe emplearse para cubrir una zona es un trabajo que debe realizarse en cada caso específico en el diseño del proyecto,

de acuerdo a la forma del terreno o ciudad y de la frecuencia con que se va a transmitir.

– **Terminal externo WiFi:** La tarjeta WiFi es de red LAN de acuerdo a la certificación WiFi y posibilita el enlace del terminal de usuario en redes 802.11. Hay diversas tarjetas para los sub- estándares (a, b o g) y también mixtas. Tales equipos externos pueden enlazarse a puertos PCI o PCMCIA o USB. Las principales diferencias entre este tipo de tarjetas y las Ethernet tradicionales son el encriptado de la información, el identificador de red WiFi (ESSID), el medio de transmisión y el arreglo de velocidad.

– **Antena de usuario y terminal pigtail:** La antena de usuario proporciona la cobertura necesaria a un usuario para ingresar a la red inalámbrica. El terminal pigtail es un cable que enlaza y ajusta la tarjeta inalámbrica y la antena del usuario. Hay que decir que el pigtail no es un componente estándar sino que es de acuerdo al fabricante. En ciertos casos la tarjeta Wi-Fi trae integrada la antena de usuario, como es el caso de las tarjetas para portátiles, PDA, etc., en este caso no se requiere una antena exterior.” (Alcivar Cedeño, 2014)

5.1.1.4. TOPOLOGÍA DE RED WIFI

“Toda red inalámbrica compleja está constituida por la combinación de uno más de los siguientes tipos de arquitectura:

- Punto a Punto
- Punto a Multipunto
- Multipunto a Multipunto

Cualquier tipo de red inalámbrica aunque no sea WiFi, estará constituida por la combinación de estas configuraciones básicas, es importante tener en cuenta estos bloques fundamentales cuando se analiza una red compleja.” (WNDW, 2013)

5.1.1.4.1. ENLACE PUNTO A PUNTO

“Las redes punto a punto son aquellas que responden a un tipo de arquitectura de red en las que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos.

En una red punto a punto, los dispositivos en red actúan como socios iguales, o pares entre sí. Cada dispositivo puede tomar el rol de esclavo o la función de maestro. En un momento, el dispositivo A, por ejemplo, puede hacer una petición de un mensaje/dato del dispositivo B, y este es el que le responde enviando el mensaje/dato al dispositivo A. El dispositivo A funciona como esclavo, mientras que B funciona como maestro. Un momento después los dispositivos A y B pueden revertir los roles: B, como esclavo, hace una solicitud al dispositivo A, y A, como maestro, responde a la solicitud de B. A y B permanecen en una relación recíproca o par entre ellos.” (WNDW, 2013)

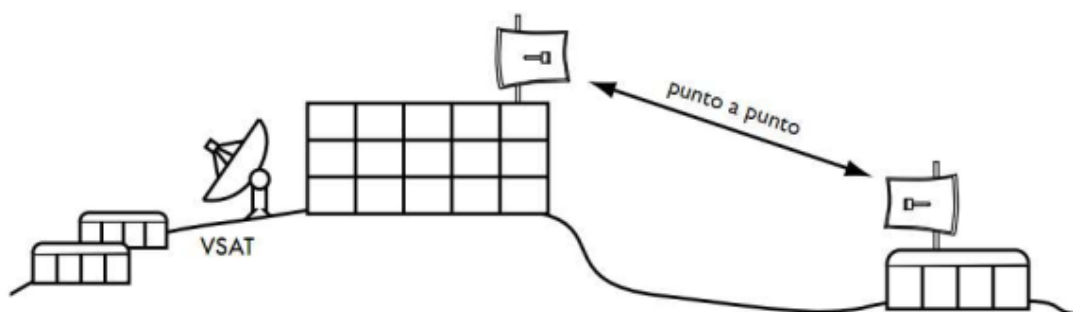


Figura 1: Ejemplo de enlace Punto a Punto

Elaborador Por: Wndw

Fuente: (WNDW, 2013)

“Las redes punto a punto son relativamente fáciles de instalar y operar. A medida que las redes crecen, las relaciones punto a punto se vuelven más difíciles de coordinar y operar.

Su eficiencia decrece rápidamente a medida que la cantidad de dispositivos en la red aumenta.

Los enlaces que interconectan los nodos de una red punto a punto se pueden clasificar en tres tipos según el sentido de las comunicaciones que transportan:

- ❖ Simplex.- La transacción sólo se efectúa en un solo sentido.
- ❖ Half-dúplex.- La transacción se realiza en ambos sentidos, pero de forma alternativa, es decir solo uno puede transmitir en un momento dado, no pudiendo transmitir los dos al mismo tiempo.
- ❖ Full-Dúplex.- La transacción se puede llevar a cabo en ambos sentidos simultáneamente.

Cuando la velocidad de los enlaces Semi-dúplex y Dúplex es la misma en ambos sentidos, se dice que es un enlace simétrico, en caso contrario se dice que es un enlace asimétrico La conexión más simple es un enlace punto-a-punto. Estos enlaces pueden usarse para extender su red a grandes distancias.” (WNDW, 2013)

5.1.1.4.2. ENLACE PUNTO A MULTIPUNTO

“Cuando más de un nodo debe comunicarse con un punto central tenemos una red punto-a-multipunto. Punto a multipunto ofrece varias rutas desde una única ubicación a varios lugares. Una conferencia puede ser considerada una comunicación punto a multipunto ya que existe solo un orador (transmisor) y múltiples asistentes (receptor). Punto a multipunto es a menudo abreviado como P2MP, PTMP, o PMP.” (WNDW, 2013)

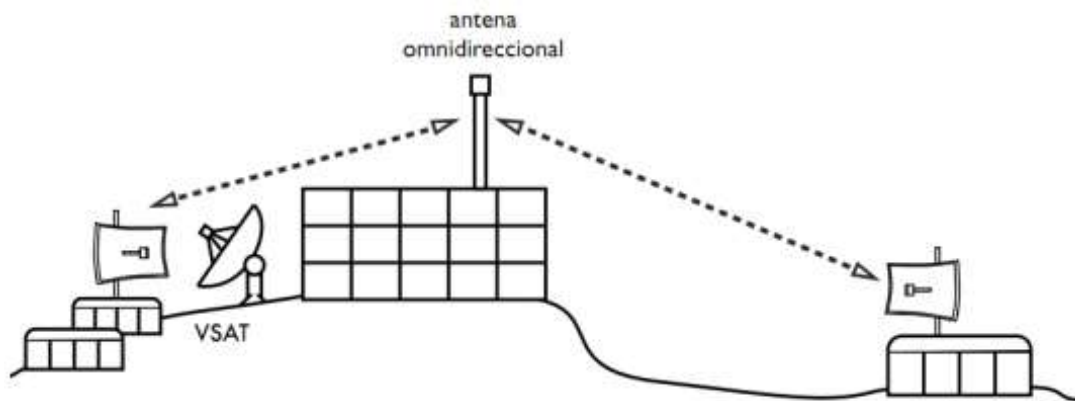


Figura 2: Enlace Punto-Multipunto

Elaborador Por: WNDW

Fuente: (WNDW, 2013)

“Existen diferentes tipos de conexiones punto a multipunto:

- **Estrella:** Un *host* conectado a varias terminales remotas.
- **Bus:** Un medio de comunicación común conectado a muchas estaciones remotas.
- **Anillo:** Todas las terminales conectadas a un mismo cable. Si una falla hay problemas con todas.
- **Malla:** Es el tipo de conexión utilizado en las centrales telefónicas. Todas las terminales interconectadas entre sí.

La red punto a multipunto es la topología más común. Considere el caso de un AP con muchos clientes. A menudo las redes punto a punto pueden evolucionar hacia redes punto a multipunto cuando se corre la voz de que es posible conectarse a la inalámbricamente.

El diseño de redes punto a multipunto es muy diferente del de las redes punto a punto. No se puede simplemente reemplazar una antena parabólica por una omnidireccional y esperar que eso sea todo. La transición de punto a punto a punto multipunto aumenta la complejidad porque ahora se tienen múltiples nodos que

compiten por los recursos de la red. El resultado neto es que el caudal total disminuye.” (WNDW, 2013)

5.1.1.4.3. ENLACE MULTIPUNTO A MULTIPUNTO

“También es denominado red ad-hoc o en malla (mesh). En una red multipunto a multipunto, no hay una autoridad central. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí. El beneficio de este diseño de red es que aún si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí. Las buenas implementaciones de redes mesh son auto-reparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen. Extender una red mesh es tan sencillo como agregar más nodos. Si uno de los nodos en la dentro de la red tiene acceso a Internet, esa conexión puede ser compartida por todos los clientes.” (WNDW, 2013)

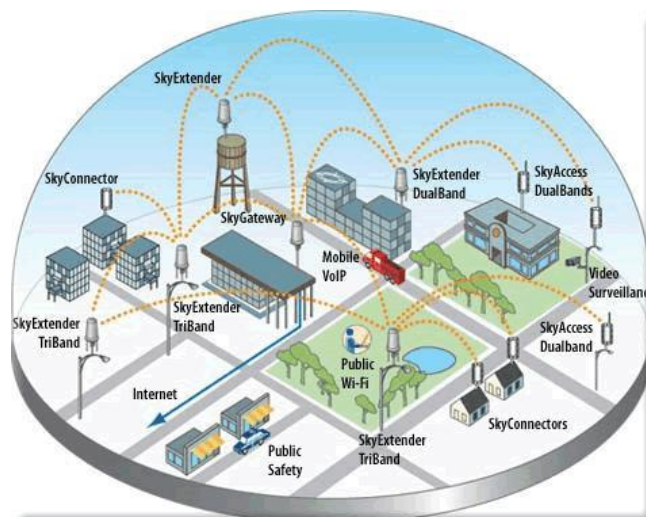


Figura 3: Esquema multipunto a multipunto

Elaborador Por: Wndw

Fuente: (WNDW, 2013)

5.1.1.5. WI-FI DE LARGO ALCANCE

Las redes Wi-Fi de largas distancias se han propuesto como una opción rentable para proporcionar servicios tecnológicos a zonas rurales, de esta manera se contribuye con el desarrollo de los pueblos.

En estas redes inalámbricas, los enlaces de larga distancia, se utilizan para conectar los pueblos vecinos que se encuentran distanciados por varias decenas de kilómetros, a través de un nodo fijo es decir, un nodo con conexión a Internet por cable (decir, fibra óptica). Cada nodo de la red tiene un radio de WiFi montado en lo alto de una torre de antena.

Las torres son necesarias para lograr la línea de vista (LOS) para los enlaces de larga distancia. Más detalles sobre cómo esa operación de larga distancia pueden lograrse usando 802.11 está en

Las implementaciones hasta el momento han sido ad-hoc en naturaleza y planificación, si alguno, en su mayoría se hizo manualmente. La falta de un enfoque sistemático tiene varios defectos. En primer lugar, un planteamiento ad-hoc o planificación manual no presta atención al costo general del sistema.

Basados en el estándar IEEE 802.11 redes de larga distancia, los costos de la torre de antena forman un componente importante del costo total. Las torres de antena pueden ser bastante caras: una torre de antena de 30m puede costar tanto como U.S. \$1,000, mientras que la radio Wi-Fi puede costar \$50 o menos.

Por lo tanto la planificación de redes de larga distancia, se convierten en un aspecto esencial de la infraestructura de la red.

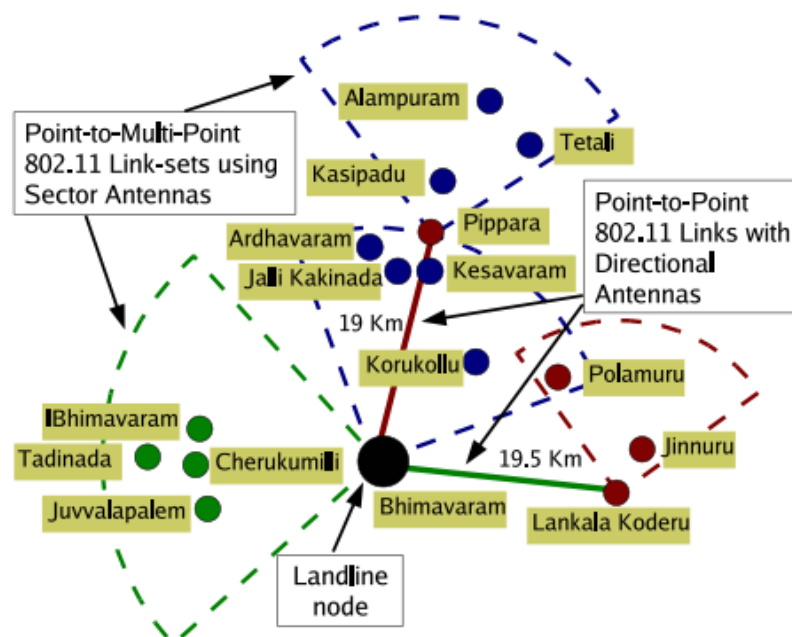


Figura 4: La red Ashwini, Andhra Pradesh, India

Elaborador Por: (Bhaskaran & Kameswari, 2007)

Fuente: Instituto Indio de Tecnología, Kanpur

“En el sur de la India, en el año 2005; investigadores de la universidad de Berkeley California, implementaron una red WiFi adaptada a largas distancias con la cual se hace posible a médicos oftalmólogos consultar remotamente a pacientes ubicados en zonas rurales aisladas y de difícil acceso. Con esta red brindan soporte a los hospitales de la fundación Aravind Eye care System quienes velan por la salud oftalmológica de los habitantes en zonas desfavorecidas y con bajos niveles de ingresos. Con la ayuda de esta red ha sido posible el diagnostico remoto de más de 100,000 pacientes, y restablecido la vista a más de 30,000.

El proyecto Digital Gangetic plains for RuralNet telephony ha sido implementado con éxito por el instituto indio de tecnología kanpur en 2002. Consiste en una red que brinda telefonía IP e internet utilizando WiFi para largas distancias. Dando

conectividad a zonas rurales aisladas y de difícil acceso especialmente en escuelas del norte de la india.” (Bhaskaran & Kameswari, 2007)

“En Nepal existe desde 2003 el proyecto Nepal wireless networking, dicho proyecto surgió de la idea de un habitante nepalés que desde 1997 estuvo intentando llevar conectividad a internet a su población. Bajo la sombra de este proyecto se mantienen hoy en día dos redes basadas en WiFi para largas distancias:

✚ Una que brinda conectividad VozIP entre puestos de salud e internet llamada red Katmandú, teniendo su núcleo en el hospital modelo de Katmandú principal centro de telemedicina de la zona.

✚ Por otro lado la red Pokhara, primera red del proyecto, interconecta entre sí varias ciudades y les brinda conectividad a internet a sus escuelas.” (Proyecto Nepal, 2014)

“En marzo de 2012, la fundación INVENEO, una empresa sin ánimo de lucro que brinda servicios a organizaciones que proveen ayuda a países en desarrollo, y Cisco TacOps, la división de Cisco encargada de brindar servicios de emergencia, han implementado una red utilizando WiFi adaptado para largas distancias en colaboración con la comisión para refugiados de las naciones unidas y USAID, en el campo de refugiados más grande del mundo llamado Dadaab, ubicado al noreste de Kenia. Esta red permite a las agencias humanitarias que operan en Dadaab interconectarse, teniendo la posibilidad de compartir archivos, tener videoconferencias en tiempo real, telefonía sobre voz IP, acceso a internet y telefonía utilizando la empresa Orange Kenia como puerta de enlace. Esta conectividad está permitiendo a las agencias humanitarias coordinar mejor sus operaciones entre ellas y con el exterior.” (DadaabNet Project Report , 2014)

“En 2010, la fundación INVENEO dejó en funcionamiento una red que se utiliza en Puerto Príncipe (Haití) que brinda conectividad entre diferentes localidades de la fundación NetHope encargada de la realización de programas relacionados con tecnologías de la información y fomento al desarrollo, permite a los miembros nacionales e internacionales mantenerse comunicados.” (Haiti WiFi Networks – Communications for Relief, 2010)

“La fundación INVENEO, en 2010 también inicio la implementación de una red basada en WiFi adaptado para largas distancias en Tanzania. Esta implementación como parte de un programa de USAID es utilizada para mejorar la calidad de la educación primaria en las escuelas del país, con principal interés en contribuir a la mejora de la lectura, aprendizaje de matemáticas y ciencias. Este proyecto se inició con un piloto de 5 escuelas ubicadas en zonas de difícil acceso.” (Education, 2011)

“En Perú dentro de las redes que podríamos destacar figuran:

- Red WiFi PAMAFRO Ehas implementada en 2007, en el marco del “proyecto de control de malaria en las zonas fronterizas de la región andina”, dicha red brinda servicios de interconexión por correo electrónico, VozIP, y salida a internet vía satélite y posibilidad de compartir archivos entre los ordenadores dentro de la red, entre 11 establecimientos de salud ubicados a lo largo del río Napo en la selva amazónica peruana.
- Red Ehas@Lis implementada en Cusco (Perú) en el año 2004 e interconecta 12 establecimientos de salud del ministerio de salud del Perú. Permite conectividad a internet, comunicaciones por VozIP y correo electrónico; con esta red se busca la mejora del sistema público de atención primaria de salud.” (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008)

5.2. INVESTIGAR LAS TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA WIFI CON TDMA, UTILIZADA EN ENLACES DE LARGAS DISTANCIAS.

5.2.1. WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS

En los últimos tiempos, Wi-Fi se ha vuelto muy popular en proporcionar conectividad a Internet a las zonas marginadas remotas utilizando enlaces de larga distancia. Sin embargo, Wi-Fi fue diseñado originalmente para apoyar redes de área local inalámbricas (WLAN) para la comunicación de corto alcance. La norma generalizada para redes WLAN, IEEE 802.11b/g que opera en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, es uno de los estándares inalámbricos más populares. Las operaciones sin licencia en la banda ISM y una variedad de bajo coste disponibles IEEE 802.11 productos de hardware hacen WiFi una atractiva y económicamente viable alternativa de comunicación para uso rural. Varios resultados de la investigación también han establecido la viabilidad de WiFi como una solución práctica para la comunicación de larga distancia.

Las redes WiFi de larga distancia son generalmente formadas por grupos de enlaces habilitados por la antena direccional de alta ganancia que cubre hasta varias decenas de kilómetros. Muchas investigaciones sobre redes WILD, incluyen test o bancos de pruebas que se despliegan en diferentes rincones del mundo. Existen pocas implementaciones de redes WILD en la vida real, dentro de ellas se incluye Digital Gangetic Plains, en Uttar Pradesh, India, Red Aravind de Telemedicina , en Tamil Nadu, India, red de larga distancia para la telemedicina y telefonía en la selva amazónica del Perú, y Akshaya red para el gobierno electrónico en Kerala, India. Varios bancos de pruebas de investigación también se han establecido en los últimos tiempos. MIT Roofnet, QuRiNet en la reserva de Ridge de codorniz en el condado de Napa, California, fractel en el IIT de Bombay, India, y VillageNet son algunos de los bancos de pruebas de investigación de la red WiLD más

importantes que están trabajando por mejorar el rendimiento de la red, proporcionando soporte para diversas aplicaciones previstas aplicaciones particularmente en tiempo real tales como el e-learning, e-gobierno, telemedicina y la telefonía.

La viabilidad de las redes Wild viene con un montón de retos. Los enlaces inalámbricos de larga distancia son muy poco fiables debido a los factores tales como el desvanecimiento de la señal y la interferencia, lo que limita el rendimiento global de la red. Por otra parte, la naturaleza de las redes de salto múltiple WILD es de gran impacto en el rendimiento y el retardo de extremo a extremo.

Algunos de los objetivos potenciales de la investigación de redes WILD son para mejorar aún más el rendimiento de la red de comunicación de larga distancia, específicamente para aumentar el rendimiento de la red, reducir la latencia mediante la mejora de la utilización del espectro.

El protocolo Control de Acceso Medio (MAC) juega un papel importante en la utilización óptima del medio de transmisión común que afecta directamente sobre el rendimiento global de la red. Soluciona las principales fuentes de problemas de residuos de energía, como un impacto, la escucha de inactividad, al oír, y la sobrecarga de paquete de control. Los protocolos basados en programación como Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) proporcionan buenas soluciones a correlación tráfico, fuerte colisión, contención y problemas que por lo general se produce en el canal de protocolos de acceso basados en contención. Se han propuesto muchos protocolos MAC basados en TDMA para redes WILD en la literatura que aborda las cuestiones relativas a la mejora del rendimiento en la comunicación de larga distancia que continúan el uso de los productos básicos de hardware 802.11. Sin embargo, temas como el punto único de fallo, la programación de la interferencia-consciente, para evitar la congestión, la provisión de calidad de servicio,

soporte multi-hop, la fiabilidad de la red, etc., aún siguen sin tratar o parcialmente abordado.

5.2.2. ARQUITECTURA DE RED WILD

Las redes WiFi rurales basadas en larga distancia comprenden enlaces punto a punto (P2P) y enlaces de punto a multipunto (P2MP) habilitados por la alta ganancia de las antenas direccionales. Tales enlaces por lo general oscilan entre unos pocos kilómetros hasta unas pocas decenas de kilómetros para cubrir largas distancias en las zonas rurales.

El nodo de pasarela en la red WILD es normalmente ubicado en la sede del distrito que está conectado a Internet de alta velocidad a través de medios de comunicación como la fibra óptica o de otro tipo.

El backbone de la red rural se compone de varios nodos intermedios formados normalmente mediante el uso de torres altas de aproximadamente 25-50 metros de altura.

Los nodos están conectados por enlaces inalámbricos de larga distancia P2P con alta ganancia (2327dBi) de las antenas direccionales y anchas de haz de aproximadamente 8 °. Se logró un enlace Wild de 38 km mediante el establecimiento de un par de transmisores conectados a 100mW, antenas direccionales rejilla-parabólico 23dBi, colocadas en la parte superior de las torres, en ambos extremos aumentó la altura a (40m).

En las zonas rurales los nodos están conectados al Gateway a través de los nodos intermedios que a su vez proporcionan conectividad a los puntos de acceso de las aldeas utilizando enlaces P2MP.

Una antena usada en un enlace inalámbrico P2MP tiene típicamente una ganancia de alrededor 17-19dBi y un haz de anchura de alrededor de 30 ° - 90 °.

Cada nodo de la red está equipado con múltiples interfaces de radio que permiten la transmisión de múltiples saltos de tráfico sobre dichos enlaces.

Los puntos finales de este tipo de redes tienen corta distancia (acceso local) los enlaces están equipados con antenas sectoriales u omnidireccionales como las redes de distribución del usuario final.

Una arquitectura de red típica WILD propuesto por fractel se representa en la Figura 5, que considera una red que comprende enlaces de largo, así como de corta distancia (acceso local). Los enlaces de larga distancia extienden su conectividad desde un punto por cable, llamado la puerta de enlace o gateway a un punto específico en cada zona. Por otra parte, las antenas sectoriales de la puerta de enlace local se utilizan para proporcionar conectividad a los puntos de acceso de las aldeas utilizando enlaces P2MP. La arquitectura se basó en la suposición de que la mayoría de los pueblos puede haber alcanzado desde su sede del distrito por un par de saltos; un solo siendo la distancia del salto sobre 1-40km tiempo. Los enlaces de acceso local amplían la conectividad a varias ubicaciones cercanas, a este punto se lo denomina como local gateway. Otras regiones podrían incluir edificios individuales, tales como escuelas, centros de salud, la comunidad centros residenciales, edificios, etc.

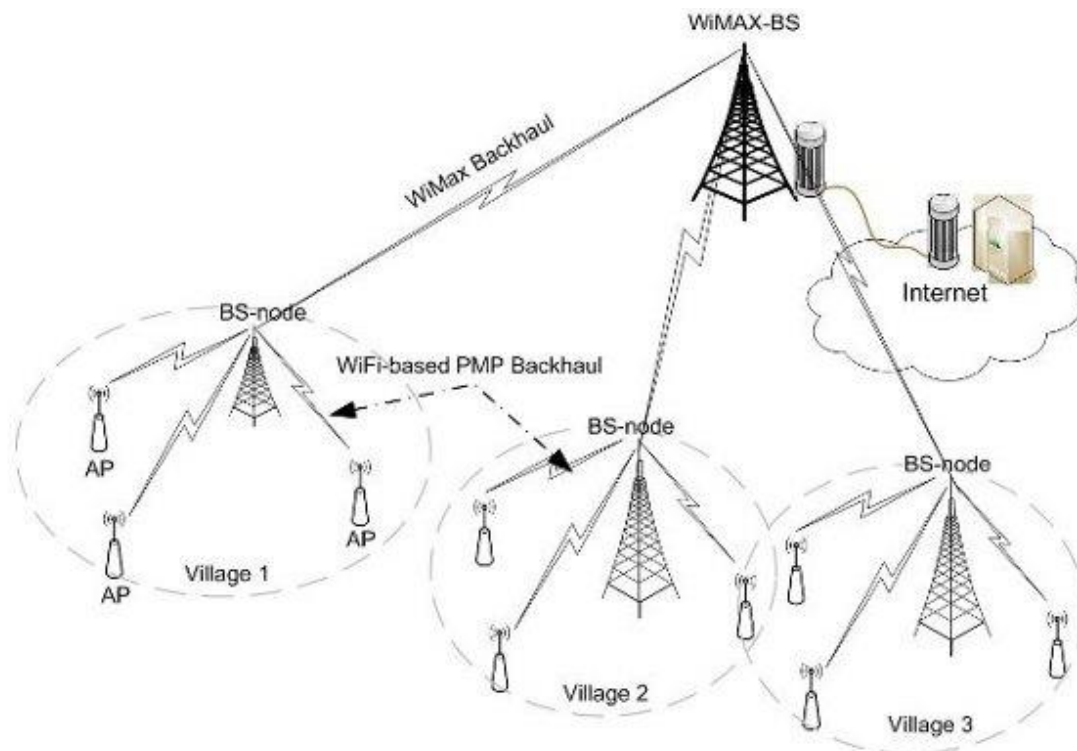


Figura 5: Arquitectura de red típica WILD

Elaborador Por: (Dr. Rashid A. Saeed et al., 2009)

Fuente: WiMAX-WiFi Synergy for Next Generation Heterogynous Network

5.2.3. PROTOCOLOS MAC PARA REDES WILD

Los protocolos MAC se clasifican en términos generales en los protocolos basados en contención y libre de contención. En WiFi, CSMA / CA es la afirmación por defecto del protocolo de MAC, mientras que los protocolos MAC basados en TDMA son algunos de los protocolos de contención libres ampliamente utilizado. CSMA / CA es un mecanismo de acceso al canal que fue diseñado originalmente para resolver las disputas de las condiciones de interior.

En el mecanismo CSMA, los nodos compiten por el canal compartido por un tiempo específico antes de la transmisión de los datos, garantizando así que el canal está libre. Sólo después de asegurarse de que el canal está libre, un nodo comienza su transmisión. Si

el canal es detectado ocupado, el nodo aplaza su transmisión hasta que se vuelve inactivo. CSMA/CA se utiliza para mejorar el rendimiento del método CSMA, permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión.

El método de acceso al canal TDMA (multiplicación por división de tiempo) se utiliza para el intercambio del medio entre los nodos disponibles dentro de un rango de transmisión común.

Permite múltiples estaciones compartan el mismo canal de frecuencia dividiendo el tiempo de transmisión en las ranuras discretas. En el mecanismo de TDMA, el canal está vinculado por una estructura de supertrama que consiste en una serie de franjas horarias asignadas por un coordinador.

Los intervalos de tiempo consecutivos están separados por pequeño periodo de tiempo, llamado periodo de guarda.

El periodo de guarda se utiliza para asegurar las transmisiones que no se superponen entre las estaciones. Dos estaciones con sincronización de tiempo menor que el tiempo de guarda pueden comunicarse con éxito sin sufrir ninguna colisión.

Los intervalos de tiempo se asignan entre los nodos contendientes de acuerdo a sus requisitos de tráfico, es decir, un nodo obtiene un intervalo de tiempo cada vez que tiene datos para enviar.

Desde TDMA es un esquema MAC basada en la programación, los nodos pueden apagar las radios durante los tiempos de inactividad para ahorrar energía. El correcto funcionamiento de este esquema MAC requiere que todos los nodos sean sincronizados en el tiempo.

5.2.4. TDMA BASADO EN PROTOCOLOS MAC

Se proponen muchos protocolos MAC basados en TDMA para las redes WiLD, estableciendo diferentes escenarios como salto simple vs. multi-salto, centralizados y distribuidos, etc. Sin embargo SoftMac, MadMAC, FreeMac, y la superposición Malayer (OML) se han unido para proporcionar una plataforma inicial para el desarrollo de protocolos MAC basados en TDMA para redes WiLD.

La empresa SoftMac desarrolló un software de sistema que permite a los investigadores utilizar materia prima barata, para experimentar con tarjetas de red inalámbrica, fácilmente pueden construir y desplegar capas MAC dinámicas experimentales en los sistemas Linux.

MadMAC extendió la idea de SoftMac e implementó un sistema TDMA-salto simple, entre dos nodos con sincronización de tiempo ajustado. Varios diseños fueron dirigidos a mantener y continuar con la estructura de ranura y transmisión de paquetes. FreeMac aprovechó la metodología descrita en SoftMac e implementó un sistema TDMA de salto-simple con estrictos requisitos de tiempo además proporciona un enfoque multi-canal.

La capa MAC Overlay (OML) está diseñado en la parte superior de la capa MAC 802.11 usando Click Router que combina el poder de cambiar la capa de MAC y la facilidad de modificar sólo las capas más altas. Se centra en la asignación de turnos a los nodos de acuerdo con una política cola de ponderación justa (WFQ) para mejorar la equidad de 802.11. OML utiliza relojes sincronizados para dividir el tiempo en las ranuras de igual tamaño y luego emplea un algoritmo distribuido para asignar estas ranuras entre los nodos de la competencia.

Los protocolos MAC basados en TDMA discutidos anteriormente son de carácter genérico y no son objeto de las redes WiLD; Sin embargo, proporcionan la base para el desarrollo basado en TDMA MAC para redes WiLD. 2P, Wildnet, JazzyMAC, JaldiMAC, y son algunos de los importantes protocolos MAC basados en TDMA que se refiere especialmente de direcciones las cuestiones de WiLD MAC.

5.2.4.1. PROTOCOLO 2P.

Protocolo 2P fue el primero en proponer una TDMA para redes WiLD. Este protocolo considera el uso de la operación multi-radio, en una sola torre y demuestra un funcionamiento síncrono simultáneo (SYNOP) de transmisión (Tx) y Recepción (Rx) en la topología bipartita. Se mantiene un enlace de transmisión activo en cualquiera de las direcciones todo el tiempo. El protocolo utiliza un paquete de sincronización llamado paquete especial que actúa como marcador de token. Un nodo que posee el paquete marcador sólo puede transmitir durante un de tiempo determinado. Cuando la transmisión ha terminado, el paquete fabricante se pasa de un extremo de un enlace WiLD a la otra, de manera que en cualquier instante de tiempo exactamente un extremo del enlace es en la transmisión y el otro está en modo de recepción. Los autores afirman que para lograr una mejora de rendimiento significativo sobre 802.11 CSMA / CA en redes de malla de larga distancia.

5.2.4.2. WILDNET.

Wildnet 2P se basa básicamente en hacer algunos cambios adicionales con el fin de mejorar aún más la utilización del enlace y hacer un sistema robusto en el manejo de las pérdidas de paquetes. Wildnet utiliza un mecanismo de recuperación de la pérdida de

adaptación que utiliza una combinación de FEC (Forward Error Correction) y el reconocimiento mayor para reducir la tasa de pérdida y aumentar el rendimiento de extremo a extremo. Al igual que 2P, Wildnet también utiliza la ranura de tiempo de transmisión estático con sincronización de tiempo.

5.2.4.3. JAZZYMACH.

JazzyMAC Dispone de intervalos de transmisión de longitud variable por el cual cada nodo puede adaptar la longitud de sus intervalos de transmisión de acuerdo con las exigencias cambiantes de tráfico. El protocolo está diseñado para permitir a los nodos vecinos proceder con las transmisiones paralelas independientes que contribuyen al rendimiento mejorado.

El protocolo de programación no requiere la topología de ser bipartito, haciendo que el protocolo aplique a cualquier topología arbitraria y cada nodo puede utilizar información local para la adaptación de la ranura. JazzyMAC se demanda para lograr un rendimiento superior sobre 2P y Wildnet.

5.2.4.4. JALDI MAC.

JaldiMAC está diseñado para soportar arquitecturas de red WiLD teniendo enlaces de transmisión punto a multipunto. Permite que los patrones dinámicos de tráfico con diferentes proporciones de simetría adaptarse a la asimetría del tráfico de Internet. JaldiMAC propone un algoritmo de programación de paquetes basada en capas centralizada.

El algoritmo de clasificación de tráfico se clasifica en dos categorías: clase sensibles a la latencia y clase de ancho de banda que corresponden a retrasar el tráfico y ancho de banda sensible, respectivamente.

El primer nodo central de tráfico programado que pertenece a la clase sensibles a la latencia de máximo retardo delimita uno tras otro los huecos dejados por las programaciones anteriores; y finalmente los huecos restantes se asignan al tráfico de la clase de ancho de banda.

JaldiMAC garantiza equidad por sesión, ofrece garantías de calidad de servicio, latencia tráfico sensible sin comprometer la imparcialidad, y también utiliza el mecanismo de reconocimiento mayor. El protocolo se encarga de la corrección de errores que permite ocultar la pérdida de paquetes TCP de tráfico overlaying.

JaldiMAC se implementa en dos capas. La primera capa define el comportamiento de alto nivel del protocolo JaldiMAC que se conoce como JaldiTDMA.

Esta capa es responsable de tareas tales como la construcción de cabeceras de trama, cálculo de programación TDMA, control de errores, y la estación de direccionamiento.

El segundo, es decir, la capa inferior es responsable de configurar el hardware chip y configuración de la capa física, así como proporcionar una interfaz para la capa superior para inyectar paquetes a través del aire.

JaldiTDMA se implementa utilizando el Click Modular Router en el espacio de usuario, mientras que Jaldi9k es un módulo del kernel de Linux.

5.2.4.5. TDMA MAC CENTRALIZADA MULTI-SALTO PARA REDES WILD.

(Dhekne et al. , 2009) demuestra un MAC basado en TDMA para redes WiLD multi-hop utilizando hardware accesible fuera de la plataforma. Se emplea un enfoque de sincronización multi-hop, nodo de difusión y programación centralizada.

“El protocolo utiliza las ranuras de control para distribuir ranuras TDMA desde el nodo raíz a otros nodos. Las ranuras de contención son utilizadas por los nodos que no son root para transmitir información de tráfico del nodo raíz. Las ranuras de datos se utilizan para datos reales de flujo a través de la red utilizando paquetes de datos.

Un nodo que quiere empezar un nuevo flujo de datos, transmite su petición a la raíz mediante las ranuras de contención. EL root, después de recibir la solicitud, registra el flujo y asigna el espacio de tiempo TDMA.

La programación centralizada calcula el número de ranuras TDMA para cada nodo como ranuras disponibles, el número total en el marco dividido por el número de nodos activos disponible en la red.”

5.2.4.6. TDMA MAC MULTI-CANALES PARA REDES WILD.

El protocolo MAC propuesto por (Dutta, P. et al., 2008) establece un nuevo mecanismo de asignación de canales para redes WiLD.

“Este esquema se levanta la restricción Synop de 2P y permite la transferencia de datos continua full-duplex en todos los eslabones de la red. El uso de múltiples canales elimina la interferencia del enlace y por lo tanto no requieren sincronización entre los nodos. Considerando que un enlace en la red está compuesto por dos bordes directos, el mecanismo de asignación de canales non-interfering IEEE 802.11

permite que el conjunto de canales asignados a los enlaces salientes se disocien del conjunto de canales asignados a los enlaces entrantes de un nodo.”

5.2.5. TEMAS DE INVESTIGACIÓN DE REDES WiLD-TDMA basada en PROTOCOLOS MAC

Los protocolos MAC WiLD descrito en la literatura abordan muchos temas pero todavía muchos aún no se han tomado con el fin de que esas redes puedan ser un fuerte candidato para las zonas rurales marginadas. Algunos de los temas de investigación importantes se discuten a continuación.

5.2.5.1. SOPORTE PARA PROGRAMACIÓN TDMA MULTI-HOP

Al proporcionar conectividad a los puntos de acceso de las zonas rurales, la arquitectura de red WiLD requiere necesariamente ser multi-hop.

Se ha observado que la mayoría de los protocolos anteriores basados en TDMA como 2P, Wildnet, y JazzyMAC no consideran toda la topología de red troncal rural en el momento de la programación.

La programación TDMA multi-hop teniendo en cuenta toda la red WiLD como una sola unidad que puede proporcionar una mejor eficiencia en términos de retardo y caudal. La programación de saltos múltiples necesariamente debe ser consciente de la interferencia con el fin de optimizar el rendimiento de la red.

¿Quién tomará la decisión de planificar una red de malla multi-hop considerablemente estable? Normalmente, un coordinador central, por ejemplo, el nodo de pasarela en una red WiLD hace el trabajo de programación de saltos múltiples.

Sin embargo, el tiempo de transmisión también se puede preparar de una manera distribuida la participación de todos los nodos en contienda en el proceso de toma de decisiones.

5.2.5.2. CALIDAD DE SERVICIO (QOS) DE APROVISIONAMIENTO

El tráfico dinámico del internet juega un papel fundamental en el diseño, control y optimización de una red. El internet moderno se compone de tráfico heterogéneo que difieren en términos de sus características y requisitos de calidad de servicio.

La existencia de los protocolos MAC y de JaldiMAC como se discute con anterioridad, ya sea de forma parcial o total no abordan las cuestiones de calidad de servicio en absoluto. Aunque JaldiMAC ofrece garantías de calidad de servicio para diferentes clases, pero se limita a un solo salto. La QoS en la red WiLD se centra principalmente en dos aspectos generales: estricto retardo y rendimiento de punto a punto.

5.2.5.2.1. ESTRICTO RETARDO END-TO-END.

Se requiere un estricto retardo de punto a punto para tener la seguridad de aplicaciones en tiempo real como VoIP, videoconferencia, etc. En las redes multi-hop, la cuestión de estricto retardo se convierte en importante porque se incrementa con el aumento de número de saltos.

5.2.5.2.2. RENDIMIENTO PUNTO-TO-PUNTO.

Ancho de banda es un recurso escaso en las redes WiLD. Las redes WiLD suelen ir acompañados por defecto por una canalización que hace que el ancho de banda sea un recurso más exigente hacia la puerta de enlace de una red. La asignación de ancho de banda no controlada puede conducir a la congestión en la red.

Como tal, los protocolos MAC para redes WiLD tienen que asignar correctamente el ancho de banda a diferentes enlaces o el flujo de tráfico a través de múltiples saltos con el fin de mitigar el problema de la congestión.

Un esquema de la congestión MAC consciente podría ser muy útil en este sentido. Los esquemas de control de admisión basado en la disponibilidad de recursos pueden asegurar garantías de QoS de los flujos ya admitidos en este tipo de redes con recursos limitados. Impredecibles y con pérdida enlaces WiLD, también pueden afectar al rendimiento de las aplicaciones como FTP que no pueden tolerar alta la pérdida de paquetes.

5.2.5.2.3. NIVEL DE PROGRAMACIÓN DE PAQUETES

Para mejorar el rendimiento global de la red, la mayoría de los protocolos MAC basados en TDMA se centran en la programación a nivel de enlace de tráfico y no se ocupan de nivel de paquete de tráfico de programación dentro de un nodo. Los paquetes de tráfico heterogéneo que tienen diferentes requisitos de tráfico permanecen en las colas amortiguados por más tiempo. Cuando un nodo se le asigna una ranura de tiempo para la transmisión, los paquetes con una prioridad más alta tienen que ser transmitido antes que los otros. Por lo tanto, el mecanismo de programación de paquetes QoS-aware es inevitable,

con el fin de proporcionar QoS para diferentes tipos de aplicaciones, incluyendo en tiempo real.

5.2.5.3. CONSIDERACIÓN DE VARIOS CANALES DE RADIO DE MÚLTIPLES

Todos los protocolos MAC basados en TDMA excepto han evitado el uso del concepto de multi-canal y se han pegado a la utilización de un solo canal.

Una posible razón de esto es el número limitado de canales utilizables o disponibles en el estándar IEEE 802.11 y para evitar la contaminación de RF. Como un nodo intermedio en la red WiLD está equipado con múltiples radios, el uso de múltiples canales puede mejorar aún más el colector de rendimiento de la red.

Un esquema de asignación de canal apropiado con multi-canales y multi-radio puede considerar en gran medida la degradación del rendimiento debido a la consideración de un solo canal.

5.2.5.4. FIABILIDAD MEJORA EL USO DE VARIAS PUERTAS DE ENLACE

La única consideración en la mayoría de las redes WiLD es la puerta de entrada o Gateway que hace que la red sea altamente fiable. El fracaso de la puerta de enlace o cualquier otro nodo puede hacer que la red en forma total o parcial entre en estado desconectado.

La incorporación de múltiples nodos Gateway en la arquitectura de redes WiLD son asumidas para ser conectado con Internet de alta velocidad, pueden proporcionar una mayor fiabilidad en transmisión.

Con el uso de múltiples gateway, los problemas de enrutamiento también se descubrirán. En caso de un fallo de enrutamiento, otra alternativa puede ser elegida para continuar la transmisión ininterrumpida. En presencia de varias puertas de enlace, la carga de la red se puede compartir entre todas las puertas de enlace para evitar el problema de canalizar el nodo gateway.

5.3. TÉCNICAS DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO CSMA/CA VS TDMA.

5.3.1. CSMA/CA

5.3.1.1. DEFINICIÓN

Acceso Múltiple con Escucha de Portadora (CSMA) por sus siglas en inglés, son un mecanismo de acceso al canal que fue diseñado originalmente para resolver las disputas de las condiciones de interior. En el mecanismo CSMA, los nodos compiten por el canal compartido por un tiempo determinado antes de la transmisión de los datos, garantizando así que el canal está libre. Sólo después de asegurarse de que el canal está libre, un nodo comienza su transmisión. Si el canal es detectada por el nodo aplaza su transmisión hasta que se vuelve inactivo.

La evitación de colisión (Collision avoidance) se utiliza para mejorar el rendimiento del método CSMA al tratar de ser menos "codicioso" en el canal. Si el canal se detecta ocupado antes de la transmisión entonces la transmisión se diferirá durante un intervalo "al azar". Esto reduce la probabilidad de colisiones en el canal.

5.3.1.2. CARACTERÍSTICAS

La naturaleza distribuida del protocolo CSMA y los bajos retrasos que induce cuando el número de terminales activos es pequeño, lo convierten en un candidato muy atractivo para la comunicación inalámbrica. Sin embargo, ciertas restricciones en ese entorno no permiten la aplicación directa del protocolo.

Recordar que con el fin de ser capaz de implementar el protocolo CSMA / CA, cada terminal debe ser capaz de realizar las siguientes funciones.

1. El terminal debe ser capaz de escuchar el canal y escuchar si uno o más del resto de los terminales en el canal está intentando una transmisión - la capacidad de detección de portadora.
2. El terminal debe ser capaz de escuchar el canal durante la transmisión y detectar si su transmisión chocó con la transmisión de otros terminales - capacidad de detección de colisión

La capacidad de detección de colisión implica que un terminal debe ser capaz de transmitir y recibir al mismo tiempo, que en un entorno inalámbrico puede ser costoso y a menudo se evita. Por lo tanto, el terminal de transmisión no puede ser capaz de asegurar incluso la entrega correcta de su paquete. Por otra parte, si existe la capacidad de detección de colisión, todavía es posible que una estación transmisora no detecte una colisión mientras se está transmitiendo un paquete, pero la transmisión chocó en el receptor. Esta falta de capacidad de detección de colisión puede remediarse haciendo que el receptor informe al transmisor de que el paquete transmitido se ha recibido correctamente. Para ello, el terminal de recepción, sobre la correcta recepción de un paquete, envía un paquete de confirmación breve de vuelta al transmisor. Este paquete se denomina el mensaje de ACK.

5.3.1.3. APLICACIÓN

Los principios del protocolo CSMA / CA se han aplicado a la especificación del protocolo MAC para redes de área local inalámbricas (WLAN), conocidos como el estándar IEEE 802.11. Originalmente, las tasas de transmisión de IEEE 802.11 fueron de 1 y 2 Mbps. La extensión IEEE 802.11b de esta norma especifica 5.5 y 11 Mbps las tasas de transmisión, mientras haya trabajos en curso este aumentará la tasa a 20Mbps.

En la actualidad existe un gran interés en el desarrollo de las tecnologías WLAN que no sólo soporta altas velocidades de datos, sino también la comunicación multimedia, como vídeo, audio, la comunicación de videoconferencia, etc. El soporte para la comunicación multimedia impone requisitos adicionales a la red, tales como retrasos de paquetes de baja, baja pérdida de paquetes, etc. Las redes que sean capaces de proporcionar este tipo de apoyo se dice que proveen una Calidad de Servicio (QoS, por sus siglas en ingles). Las redes CSMA no fueron diseñadas originalmente para proporcionar calidad de servicio.

5.3.1.4. LIMITACIÓN EN EL CSMA

- ✓ Baja utilización.
- ✓ Las colisiones en largas distancias
- ✓ La interferencia Inter-enlace.
- ✓ Retraso
- ✓ Bajo rendimiento
- ✓ Congestión

5.3.2. TDMA

5.3.2.1. DEFINICIÓN

Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) por sus siglas en inglés, es un método de acceso al canal para las redes de medios compartidos. Permite que varios usuarios compartan el mismo canal de frecuencia de dividir la señal en intervalos de tiempo diferentes. Los usuarios transmiten en rápida sucesión, uno tras otro, cada uno con su propia ranura de tiempo.

5.3.2.2. APLICACIÓN

Es un método de acceso al canal (CAM) que se utiliza para facilitar el intercambio de canales sin interferencias. TDMA permite que múltiples estaciones compartan y utilicen el mismo canal de transmisión dividiendo las señales en diferentes intervalos de tiempo. Los usuarios transmiten en rápida sucesión, y cada uno utiliza su propio intervalo de tiempo. Por lo tanto, múltiples estaciones (como los móviles) pueden compartir el mismo canal de frecuencia pero sólo utilizar una parte de su capacidad.

5.3.2.3. ACCESOS DE CONTROL

La red TDMA puede controlar las estaciones de altas y bajas de la red, permitiendo a los clientes sólo TDMA con capacidad para unirse y asignar dinámicamente los tiempos de ranura. Los clientes pueden anunciar su capacidad de TDMA en solicitudes de sondeo y los marcos de asociación, por lo que el punto de acceso puede rechazar cualquier cliente que no cumpla con los requisitos de la red. El punto de acceso puede tener que rechazar

clientes si ha alcanzado su máximo apoyo cliente y sin tiempos de ranura están disponibles. Es posible utilizar también listas de control de acceso (ACL) en la AP para apoyar ranura estática vinculante para los clientes.

5.3.2.4. RENDIMIENTO DE LA RED

Como en todas las redes inalámbricas, la interferencia es un problema que debe ser evitado a mantener un buen rendimiento. El sistema TDMA debe incluir la capacidad de hacer búsquedas en segundo plano, así como las tasas de error de paquetes monitor, cambiar a un canal de baja interferencia cuando sea necesario.

TDMA aplicación Accton apoya a larga distancia de punto a punto de enlaces de más de 20 kilómetros. En una red punto a multipunto, el sistema TDMA puede proporcionar un servicio inalámbrico para hasta 16 estaciones. Este sistema es capaz de mantener un alto rendimiento para todos los clientes, independientemente de la configuración de la red de TDMA. De hecho, el rendimiento puede alcanzar más de 80% de un vínculo ideal con un solo cliente a la misma velocidad de modulación.

5.3.3. COMPARACIÓN ENTRE CSMA/CA vs TDMA.

Con un medio inalámbrico compartido donde todos los puntos de acceso (APs) y los clientes necesitan el acceso, el estándar Wi-Fi 802.11 emplea Carrier Sense Multiple Access con prevención de colisiones (CSMA / CA) para permitir que todos los nodos se comuniquen. Utilizando el método CSMA / CA, un cliente primero "escucha" (o sentidos) el medio inalámbrico para ver si alguien más está transmitiendo antes de empezar a transmitirse. Si el cliente detecta que otro nodo está transmitiendo, se espera un periodo

aleatorio antes de volver a intentarlo. Esto forma la base del mecanismo de prevención de colisiones. Sin embargo, a pesar de todos los clientes de una red pueden "escuchar" las transmisiones desde el punto de acceso asociado, que pueden no ser capaces de escuchar a los demás. Esta situación se conoce como el "problema del nodo oculto" y conduce a algunas colisiones cuando los clientes transmiten al mismo tiempo. Un cliente sabe cuándo se ha producido una colisión, cuando no recibe un paquete de confirmación (ACK) dentro de un cierto período de tiempo después de una transmisión. Sin un reconocimiento de la AP, un cliente debe esperar antes de intentar volver a transmitir el paquete.

El estándar 802.11 incluye una solicitud opcional para enviar / Listo para enviar (RTS / CTS) apretón de manos para ayudar a resolver el problema del nodo oculto, es decir, los clientes envían un paquete RTS al AP, y transmiten sólo después de un paquete CTS ha sido recibido. Aunque el mecanismo RTS / CTS puede evitar colisiones, sino que también implica una sobrecarga, lo que tiene un impacto en el rendimiento global de la red.

El método 802.11 CSMA/ CA está diseñado para comunicaciones de corto alcance, por lo que no es de extrañar que los problemas graves comienzan a surgir cuando se aplica a las conexiones de largo alcance. Cuando los puntos de acceso utilizan antenas de alta ganancia para formar enlaces de 20-30 km o más, la detección de portadora a menudo no funciona debido al retardo de propagación de largo entre los nodos (una conexión 30 km alrededor introduce un retraso de 100 microsegundos). También la cobertura limitada de antenas de alta ganancia direccionales significa que la mayoría de los nodos son esencialmente "ocultos". Además del retardo de propagación de transmisión, los paquetes ACK son igualmente a menudo no recibieron en el tiempo. Aunque el tiempo de espera de paquete ACK puede extenderse para tener en cuenta el retardo de propagación de largo, y el protocolo de enlace RTS / CTS utiliza para resolver el problema del nodo oculto, estas

soluciones limitan rendimiento de la red, que degrada aún más con un mayor número de clientes de la red.

Reemplazando el CSMA / CA de acceso al medio de un mecanismo de TDMA resuelve los principales problemas en enlaces de larga distancia mediante la eliminación de la necesidad de la detección de portadora y prevención de colisiones. El uso de TDMA, todos los nodos de una red se les asigna un intervalo de tiempo específico para la transmisión de datos, por lo que el medio inalámbrico es libre de contención. Las preguntas siguen si 802.11 hardware puede apoyar la transformación de las colas de transmisión, y la forma de programar y sincronizar los intervalos de tiempo para todos los nodos de la red.

5.3.3.1. SOLUCIONES DE TDMA CONTRA CSMA

5.3.3.1.1. ACKs A GRANEL

El protocolo de parada y espera de la 802.11 se sustituye por un enfoque flowcontrol basado en ventana deslizante en el que el receptor transmite un acuse de recibo a granel (ACK a granel) para toda una ventana de paquetes. El ACK mayor se genera como un reconocimiento agregado para todos los paquetes recibidos dentro de la ranura anterior. De esta manera, un emisor puede transmitir rápidamente en una ráfaga de paquetes en lugar de esperar a que un ACK después de cada paquete

5.3.3.1.2. DISEÑO DE TDMA EN ENTORNOS CON PÉRDIDAS

La acción mecanismo CSMA / CA 802.11 es apropiado para los ajustes WILD ya que no puede evaluar el estado del canal en el receptor. 2P (punto a punto) propuso un

mecanismo básico de TDMA (en lugar de CSMA / CA) que sincroniza de forma explícita las transmisiones en cada nodo para evitar la interferencia entre enlace. Sin embargo, a pesar de las pérdidas de paquetes (especialmente las altas tasas de pérdida), la sincronización explícita puede llevar a un punto muerto escenarios debido a la pérdida de paquetes de marcador de sincronización. En salvajes para hacer frente a este problema, se recurre a un enfoque implícita, el uso de la sincronización de tiempo suelta entre los nodos para determinar un horario de TDMA que no está afectada por la pérdida de paquetes.

5.3.3.1.3. MANEJO TASAS ALTAS DE PÉRDIDA DE PAQUETES

En las implementaciones de redes WILD encuentra que la interferencia externa Wi-Fi es la principal fuente de pérdida de paquetes. La aparición de muchas implementaciones de Wi-Fi, incluso en regiones en vías de desarrollo, va a exacerbar este problema. En Wildnet, utiliza un mecanismo de recuperación de la pérdida de adaptación que utiliza una combinación de FEC (Forward Error Correction) y reconocimientos a granel para reducir significativamente la tasa de pérdida percibida y para aumentar el rendimiento de extremo a extremo.

5.3.3.2.MÉTRICAS DE RENDIMIENTO

Tabla 1: Métricas de Rendimiento CSMA vs TDMA

Métricas de rendimiento	CSMA	TDMA
Utilización de ancho de banda	Bajo	Máximo
Soporte de Volumen de	Bajo	Alto

tráfico		
Escalabilidad de la red	Bueno	Pobre
Sincronización de nodo	No Aplica	Requerido
Consumo de energía	Alto	Bajo
Retraso	Alto	Bajo
Interferencia	Alto	Bajo
Rendimiento	Bajo	Alto
Colisión	Alto	Bajo

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.3.3.3. RENDIMIENTO DE CSMA / CA Y TDMA EN RED WILD

Si bien el diseño de redes de bajo coste WILD mediante el uso de hardware WiFi off-the-shelf, el protocolo CSMA/CA MAC existente muestra un rendimiento negativo. Los parámetros de rendimiento que se espera de este tipo de redes de apoyo a diversas aplicaciones, incluyendo aplicaciones en tiempo real tales como el aprendizaje electrónico, telemedicina, etc., no pueden ser entregados por los protocolos MAC existentes a menos rediseñado o sintonizado correctamente.

El protocolo MAC 802.11 estándar utiliza el mecanismo de acceso al canal CSMA / CA basado en contención que fue diseñado originalmente para la comunicación de corto alcance. Ya que no fue diseñado para un funcionamiento de larga distancia, enlaces realWiLD muestran abismal de extremo a extremo el rendimiento. Las principales razones de esta actuación perjudicial se destacan como:

- Alta probabilidad de pérdida de paquetes.
- Mecanismo de confirmación, ineficiente.
- La posible interferencia.

5.3.3.3.1. ALTA PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE PAQUETES

En CSMA/CA, los nodos escuchan el medio antes de transmitir cualquier comprobación de paquetes, si el canal está libre o no. Sin embargo, en un enlace de larga distancia, un nodo puede comenzar a transmitir un paquete restante inconsciente de otra transmisión de paquetes desde el otro extremo. Por lo tanto, como el tiempo de propagación de la señal aumenta en enlaces de larga distancia, la probabilidad de pérdida de paquetes debido a la colisión también aumenta proporcionalmente.

5.3.3.3.2. MECANISMO DE CONFIRMACIÓN, INEFICIENTE

El MAC 802.11 utiliza un simple protocolo de parada y espera para reconocer cada paquete de forma independiente. Tras la recepción de un paquete con éxito, se requiere el nodo receptor para enviar un acuse de recibo (ACK) que debe ser recibido por el remitente dentro de un tiempo estipulado unido conocido como reconocimiento de tiempo de espera (ACKTimeout). Si el ACK no se recibe antes de la ocurrencia de tiempo de espera, se requiere que el remitente para retransmitir el paquete de nuevo. Sin embargo, el aumento del retardo de propagación con el aumento de la distancia de enlace hace que el remitente tenga esperar un tiempo más largo para recibir el paquete ACK. Disminuye la utilización del canal de manera significativa. Por otra parte, si el tiempo que tarda el ACK para alcanzar el remitente excede el período ACKTimeout, el remitente retransmitirá ancho de banda y por lo tanto innecesariamente los residuos. Como resultado, una disminución significativa en la utilización del canal se observa con un aumento de la distancia del enlace.

5.3.3.3.3. INTERFERENCIA

Cuando los enlaces WiFi adyacentes operan en el mismo canal o en canales superpuestos, la interferencia entre ellos es inevitable que se produzcan. Esto puede ser causado como la mayoría de las antenas direccionales tienen suficientemente grandes lóbulos laterales con una ganancia de 4 a 8 dBi, además de sus lóbulos principales. Por lo tanto, la fuerza de las señales transmitidas desde una alta potencia radio en un nodo abruma cualquier recepción de paquetes en otros radios locales.

El portador de detección de MAC no es factible para la transmisión simultánea como las radios pueden escuchar la transmisión de la otra causando una de las radios de back-off. Un nodo equipado con múltiples radios en una red de múltiples saltos, donde cada una de estas radios transmite a través de enlaces de larga distancia punto a punto a receptores independientes, los efectos anteriores conducen a rendimiento sub-óptimo.

Por el contrario, TDMA permite a varios usuarios compartir un canal dividiendo el tiempo en intervalos de tiempo discretos. Se evita la sobrecarga innecesaria de contención para acceder al medio compartido. Sobre la base de la programación generada TDMA, cada nodo recibe una parte determinada de tiempo que no se solapan para transmitir y por lo tanto los protocolos MAC basados en TDMA son libres de colisiones. La tarea principal en la generación de un programa de TDMA es la asignación de ranuras de tiempo que no se superponen a cada estación en función de la topología, las tasas de generación de paquetes de un nodo, prioridades de tráfico, etc. protocolos MAC basados en TDMA mejoran el rendimiento de la red, garantizando transmisiones simultáneas sin ningún interferencia. Estas ventajas hacen de protocolos MAC basado TDMA más adecuado para redes silvestre.

5.3.3.4. VENTAJA DEL TDMA SOBRE CSMA/CA

Un sistema TDMA para las redes Wi-Fi de larga distancia sobre la base de las soluciones actuales disponibles 802.11 hardware es una realidad de trabajo. La aplicación Accton de TDMA incluye todas las características y controles necesarios para una red dinámica que ofrece un alto rendimiento durante un máximo de 16 estaciones. La red TDMA es capaz de soportar enlaces estables de 30 km o más, que ofrece una solución rentable para la entrega de servicios de red a las comunidades rurales remotas en todo el mundo.

5.4. ANALIZAR EL DESEMPEÑO DE LA RED MEDIANTE EL MONITOREO DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS: PÉRDIDA DE PAQUETES, RETARDO.

5.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

La dirección de tecnologías de la información (TI) de la Universidad Técnica de Manabí provee de servicios tecnológicos tales como: Internet, aplicaciones, sistemas, bases de datos y repositorios a las facultades de Ingeniería Agrícola, Ingeniería Agronómica y Ciencias Veterinarias ubicadas en la parroquia Lodana del cantón Santa Ana, a través de un enlace de datos proporcionado por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), utilizando como medio de transmisión la fibra óptica.

El proveedor de servicios de internet CNT brinda un servicio con altos parámetros de calidad, confiabilidad y disponibilidad para la UTM. La universidad dispone de 320Mb de

ancho de banda, los cuales son administrados y distribuidos a todas las facultades y extensiones del alma mater.

En la tabla N°2 se muestra la correspondiente distribución del ancho de banda realizada por el departamento de tecnologías de la información.

Tabla 2: Distribución de Ancho de Banda

DEPARTAMENTOS O FACULTADES	Mb
Dirección de TI-UTM (Portoviejo)	314
Facultad de Ingeniería Agronómica	2
Facultad de Ingeniería Agrícola	2
Facultad de Ciencias Veterinarias	2

Elaborador Por: Autora de Tesis.

En la tabla N°3 se muestra la correspondiente asignación de direcciones IP por parte del proveedor CNT.

Tabla 3: Asignación de Direcciones IP de la UTM

DEPARTAMENTOS O FACULTADES	DIRECCIÓN IP
Dirección de TI-UTM (Portoviejo)	192.168.192.0/24
Facultad de Ingeniería Agronómica	192.168.193.254
Facultad de Ingeniería Agrícola	192.168.194.254
Facultad de Ciencias Veterinarias	192.168.196.254

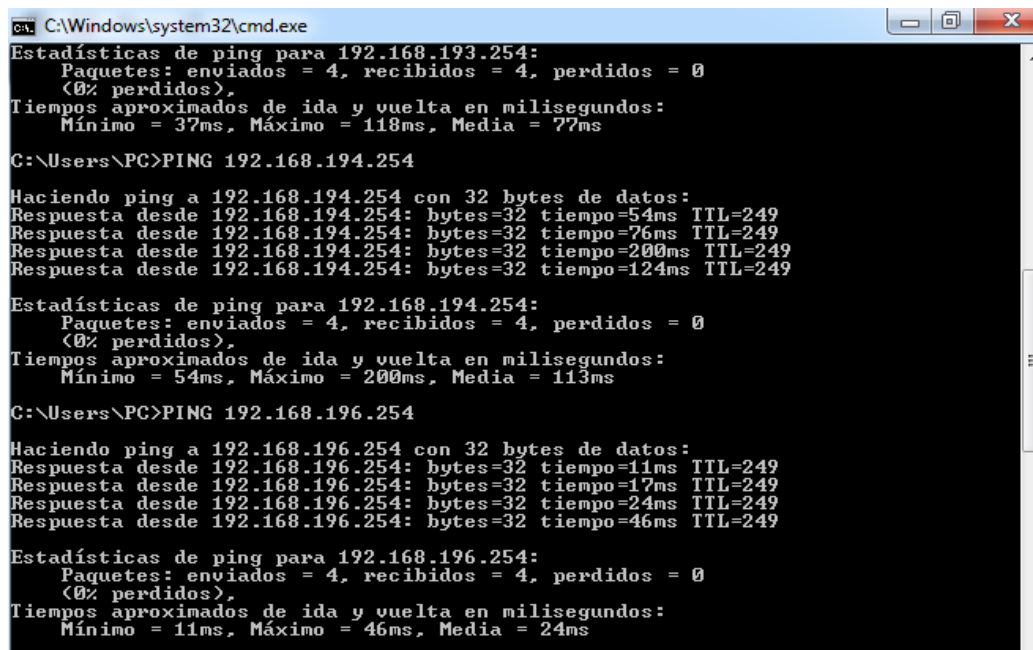
Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.4.2. MONITOREO DEL ENLACE DE DATOS UTM PORTOVIEJO-LODANA

El enlace de datos Portoviejo-Lodana brinda un excelente servicio a cada una de las personas que hacen uso de la misma, con acceso a internet, aplicaciones, sistemas, repositorios y bases de datos que permiten agilizar las tareas del personal administrativo y docente que labora en el

campus Lodana de la Universidad Técnica de Manabí, además se pudo comprobar el funcionamiento óptimo de la red mediante herramientas y software de monitoreo, que mostraron como resultados el tráfico de paquetes, pérdida de datos, ancho de banda, protocolos utilizados y dispositivos conectados. A continuación se muestra la realización del monitoreo de la red.

El Figura 6 muestra los paquetes enviados, recibidos y perdidos, además del tiempo aproximado de ida y vuelta en milisegundos utilizando la herramienta diagnóstica “Ping” que determina el estado óptimo de comunicación entre los host de la red.



```
ca: C:\Windows\system32\cmd.exe
Estadísticas de ping para 192.168.193.254:
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 37ms, Máximo = 118ms, Media = 77ms

C:\Users\PC>PING 192.168.194.254

Haciendo ping a 192.168.194.254 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.194.254: bytes=32 tiempo=54ms TTL=249
Respuesta desde 192.168.194.254: bytes=32 tiempo=76ms TTL=249
Respuesta desde 192.168.194.254: bytes=32 tiempo=200ms TTL=249
Respuesta desde 192.168.194.254: bytes=32 tiempo=124ms TTL=249

Estadísticas de ping para 192.168.194.254:
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 54ms, Máximo = 200ms, Media = 113ms

C:\Users\PC>PING 192.168.196.254

Haciendo ping a 192.168.196.254 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.196.254: bytes=32 tiempo=11ms TTL=249
Respuesta desde 192.168.196.254: bytes=32 tiempo=17ms TTL=249
Respuesta desde 192.168.196.254: bytes=32 tiempo=24ms TTL=249
Respuesta desde 192.168.196.254: bytes=32 tiempo=46ms TTL=249

Estadísticas de ping para 192.168.196.254:
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 11ms, Máximo = 46ms, Media = 24ms
```

Figura 6: Comprobando conectividad del enlace de datos

Elaborador Por: Autora de Tesis.

El siguiente gráfico muestra los host conectados a la red con sus respectivas direcciones IP y protocolos de comunicación utilizados.

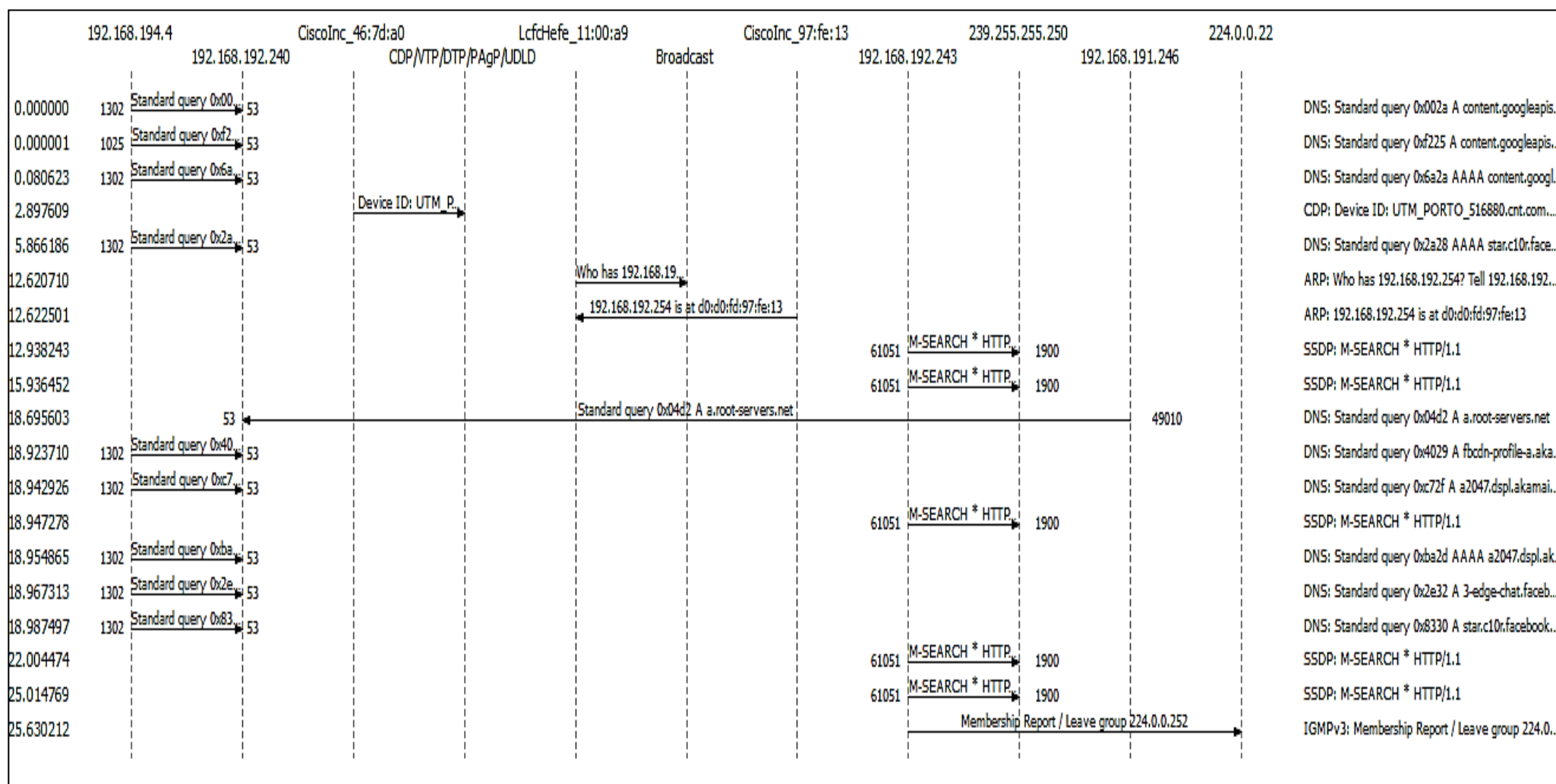


Figura 7: Análisis del tráfico de la red con Wireshark

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Wireshark IO Graphs: UTM-CAMPUS LODANA

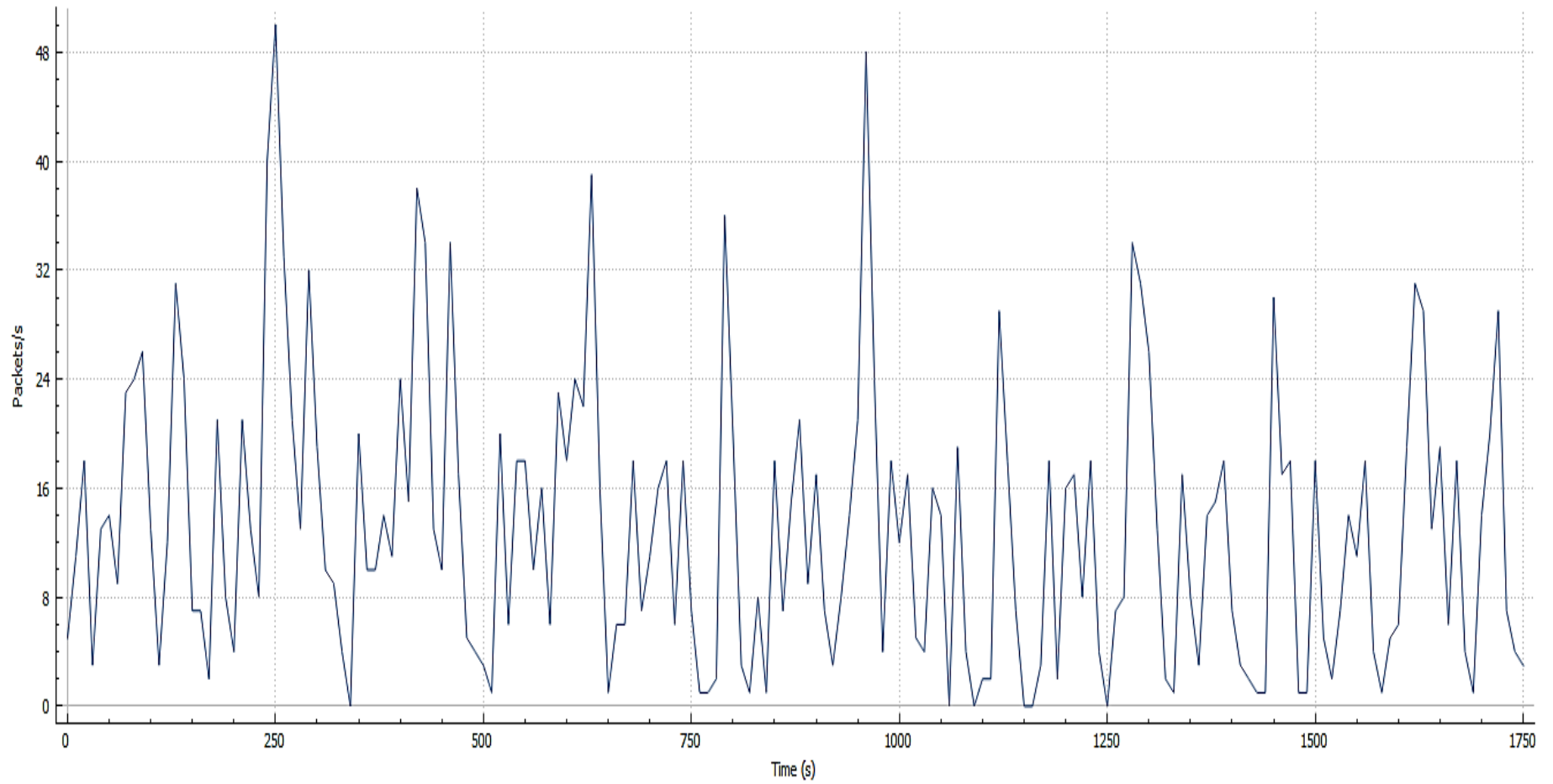


Figura 8: Análisis de tráfico de paquetes

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.4.2.1. DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL MARCO (MTU)

El tráfico total en bytes dividido de acuerdo con el tamaño del paquete.

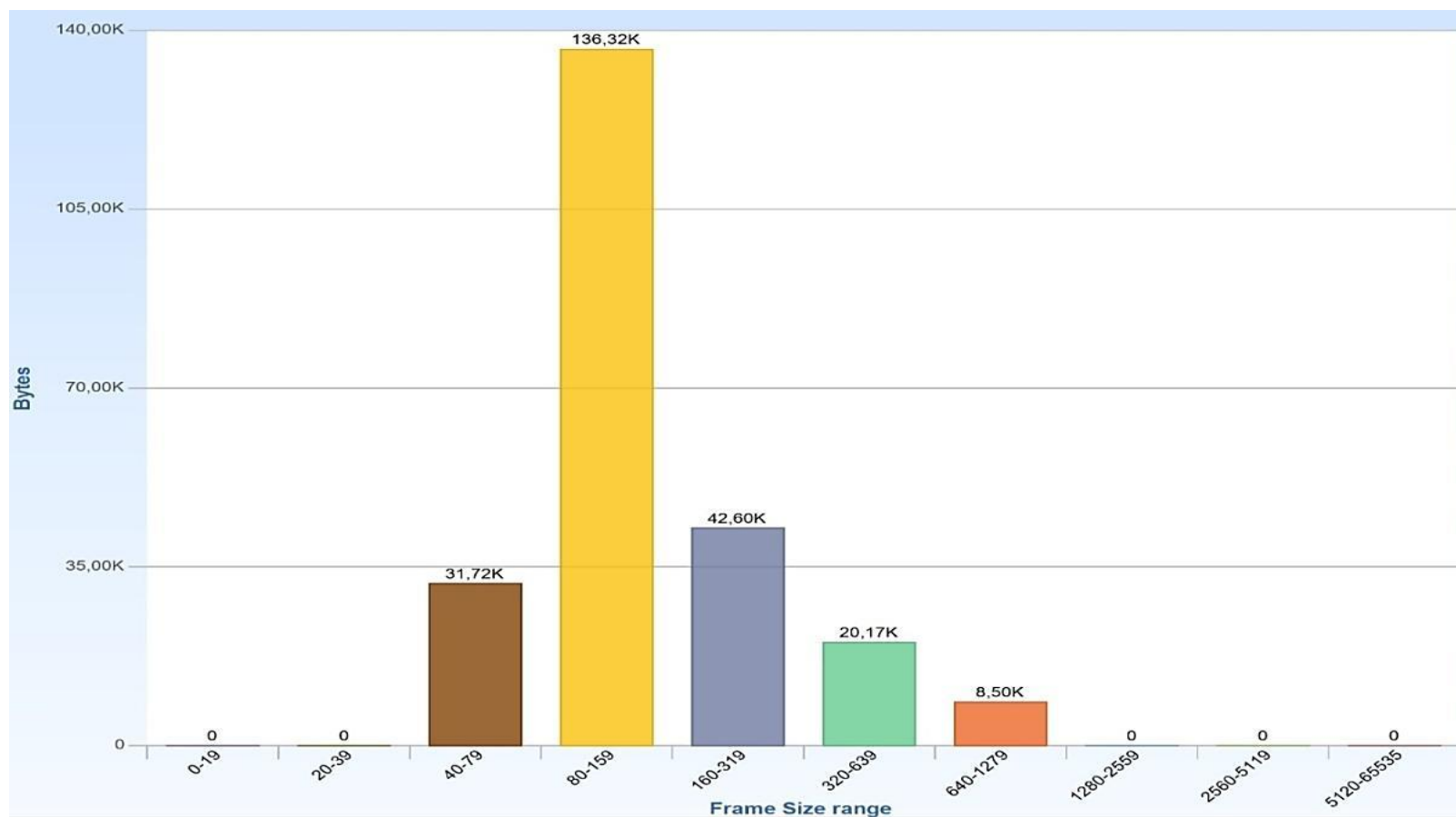


Figura 9: Tráfico total en bytes dividido por tamaño del paquete.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

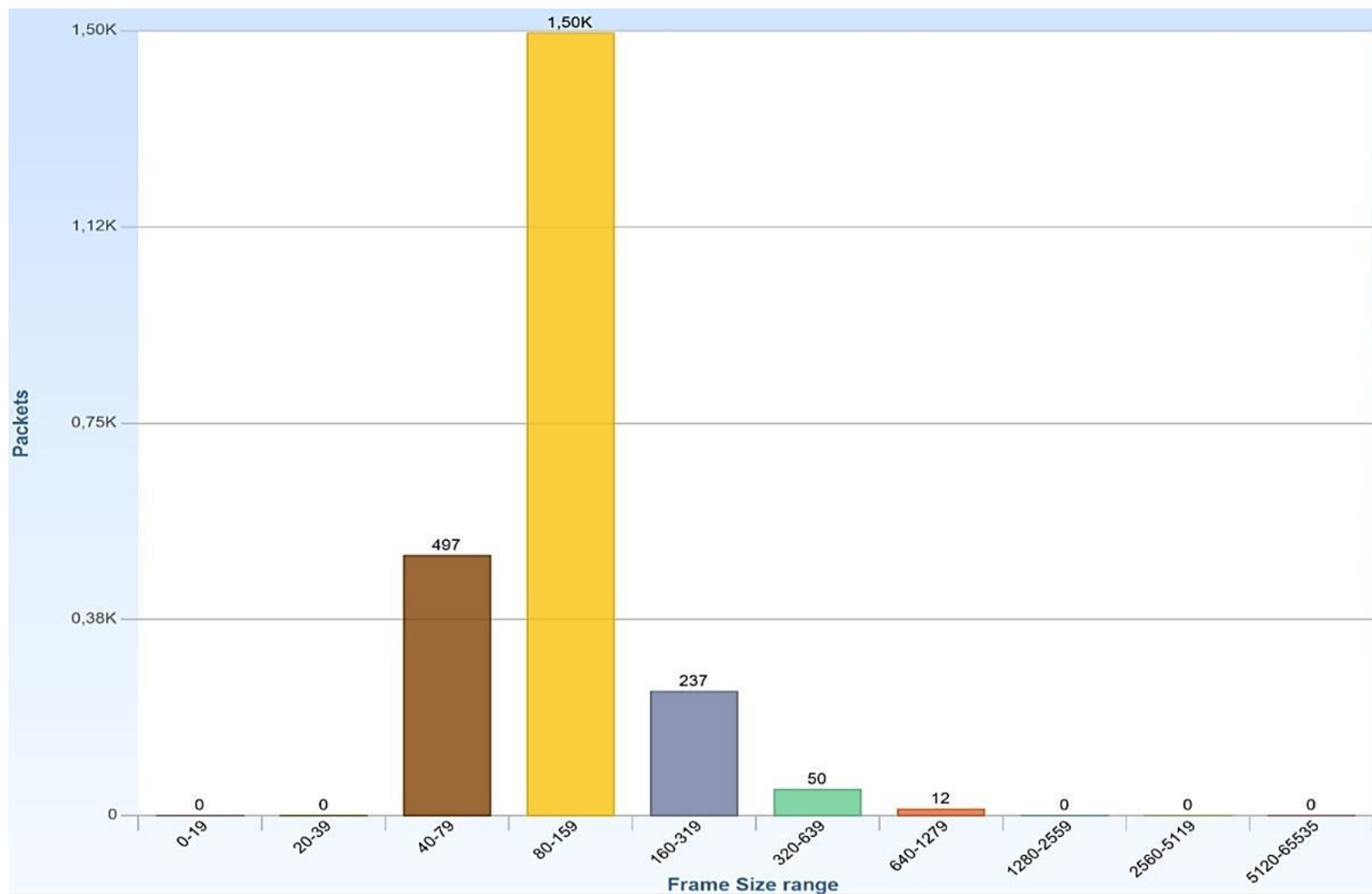


Figura 10: Número total de paquetes de diferentes tamaños

Elaborador Por: Autora de Tesis.

A continuación se muestra el tamaño de la trama media, máximo, y mínimo en el tiempo.

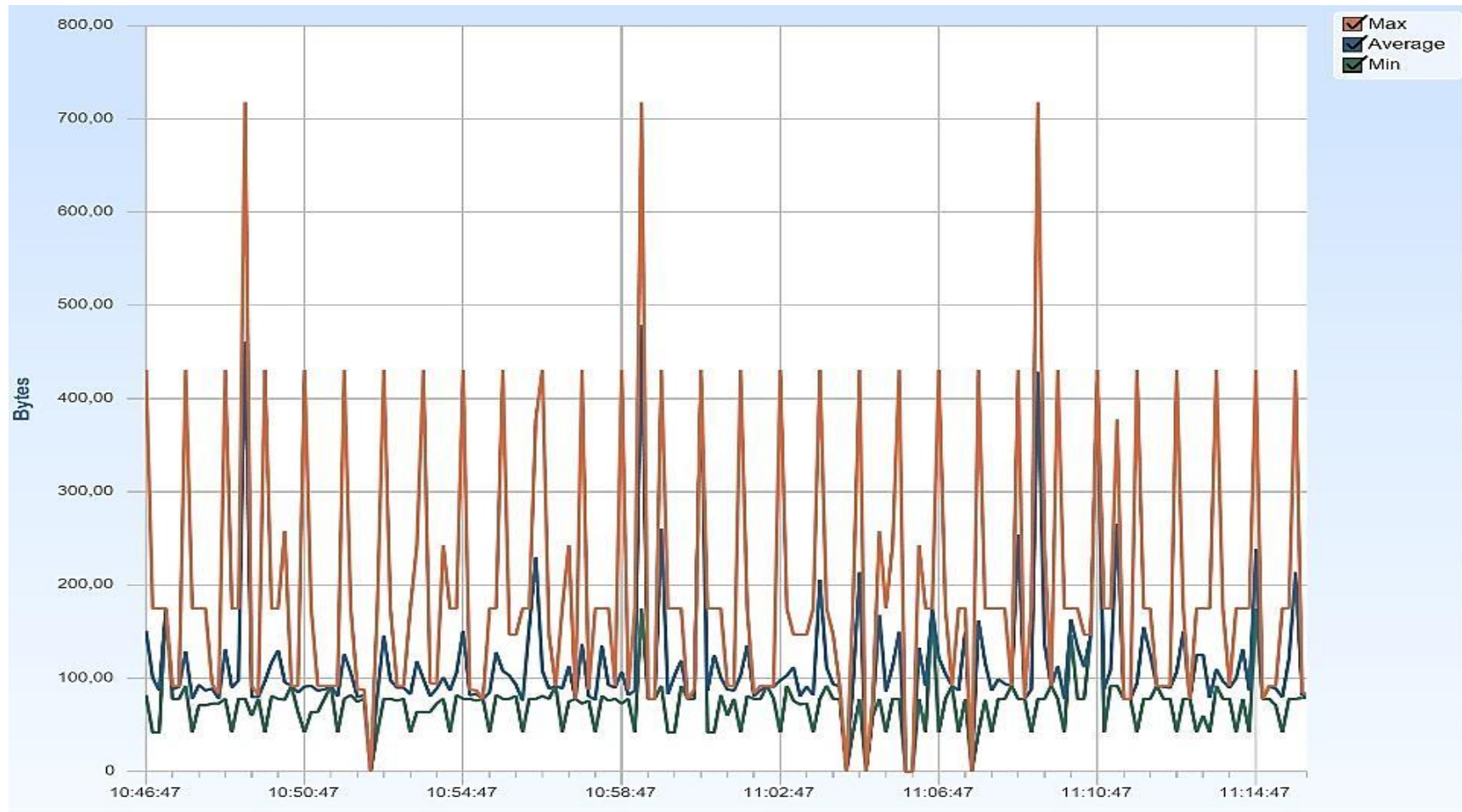


Figura 11: Tamaño de la trama media, máximo, y mínimo en el tiempo.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.4.2.2. TRÁFICO EN UN CIERTO PAZO - BITS

Se procede a monitorear el ancho de banda en el tiempo, en bits por segundo, para constatar el flujo de los datos.

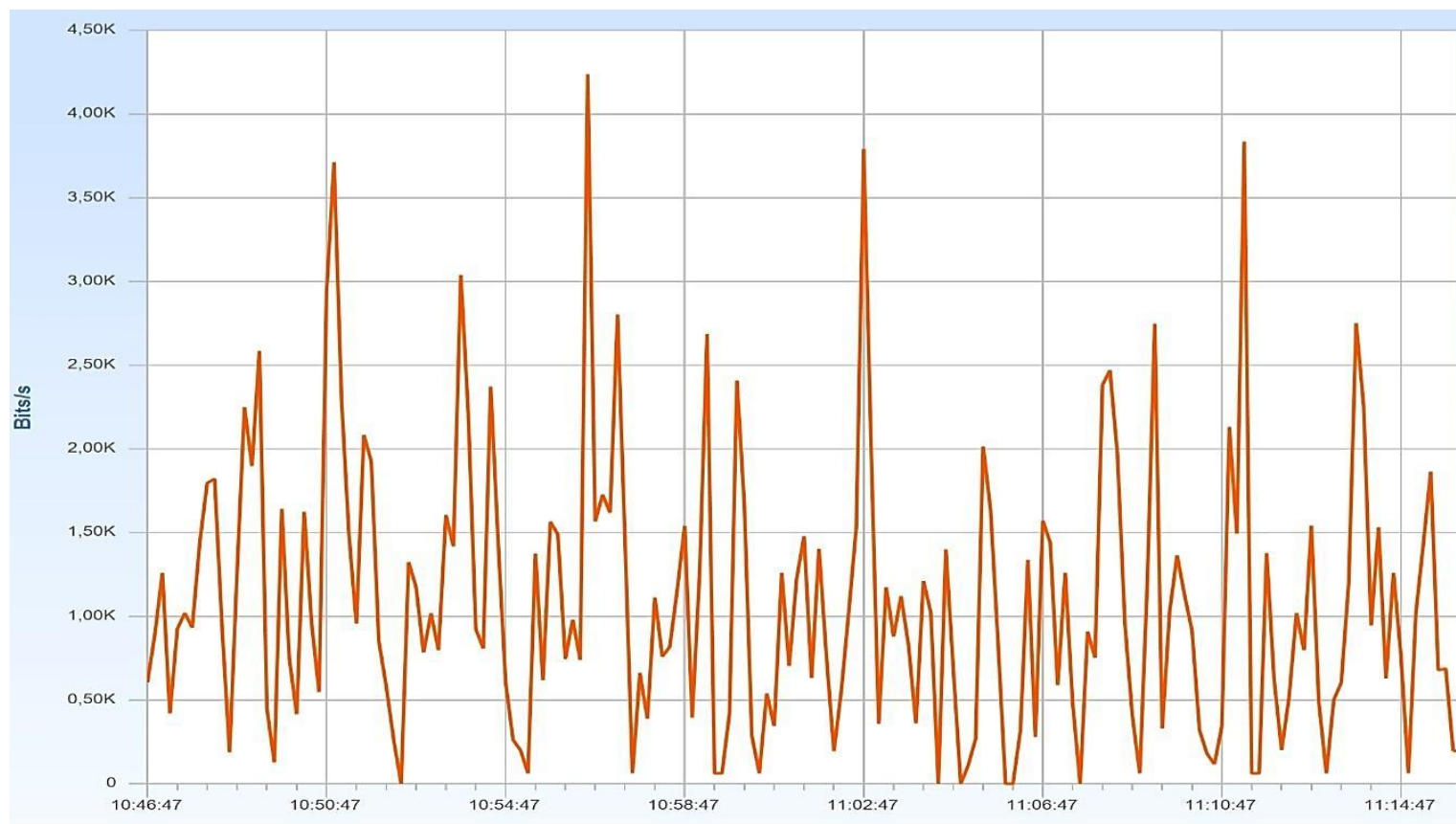


Figura 12: Ancho de banda en el tiempo, en bits por segundo

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.4.2.3. PRINCIPALES FUENTES DE MAC

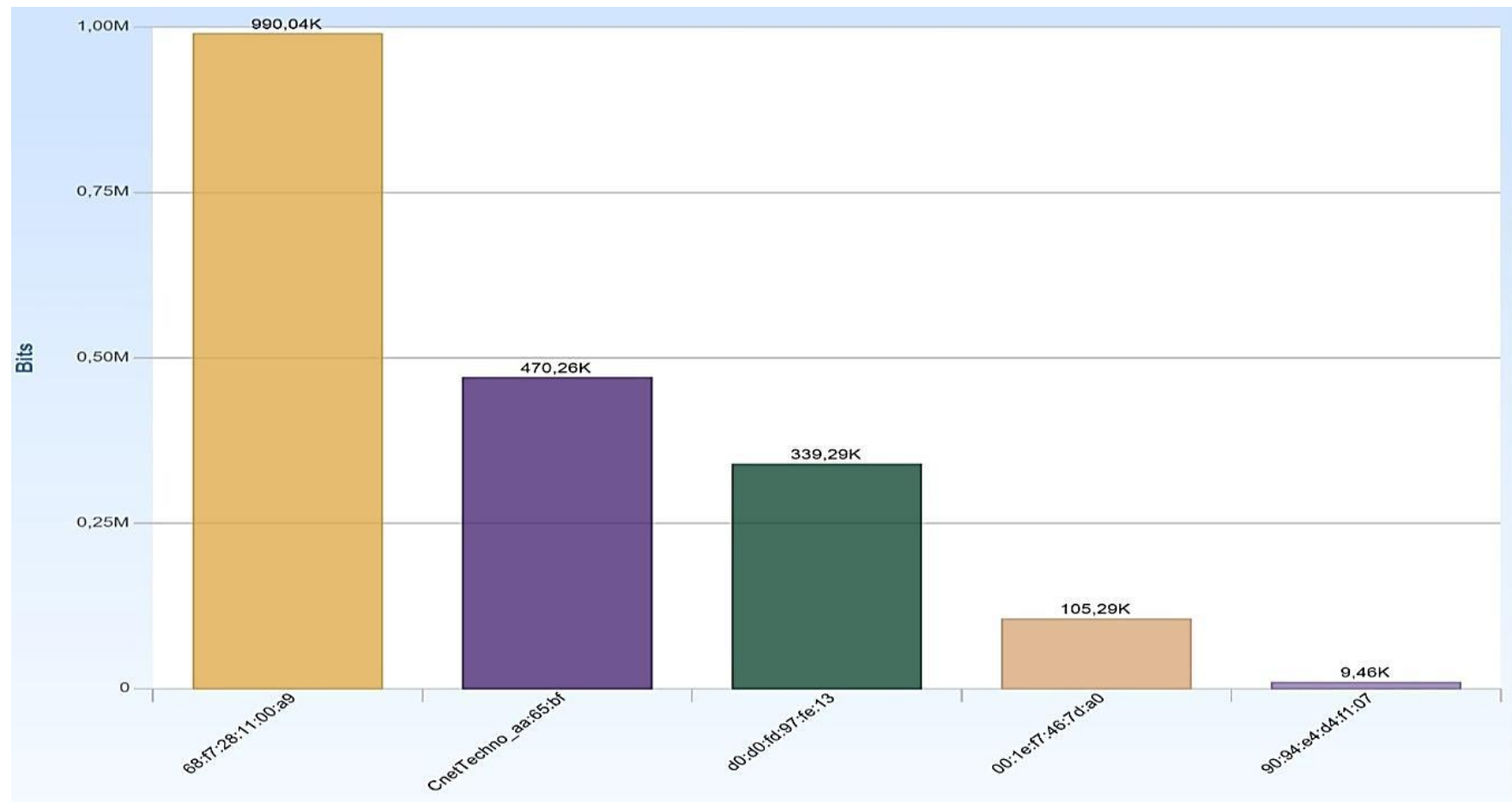


Figura 13: Fuentes superior MAC en los bits

Elaborador Por: Autora de Tesis.

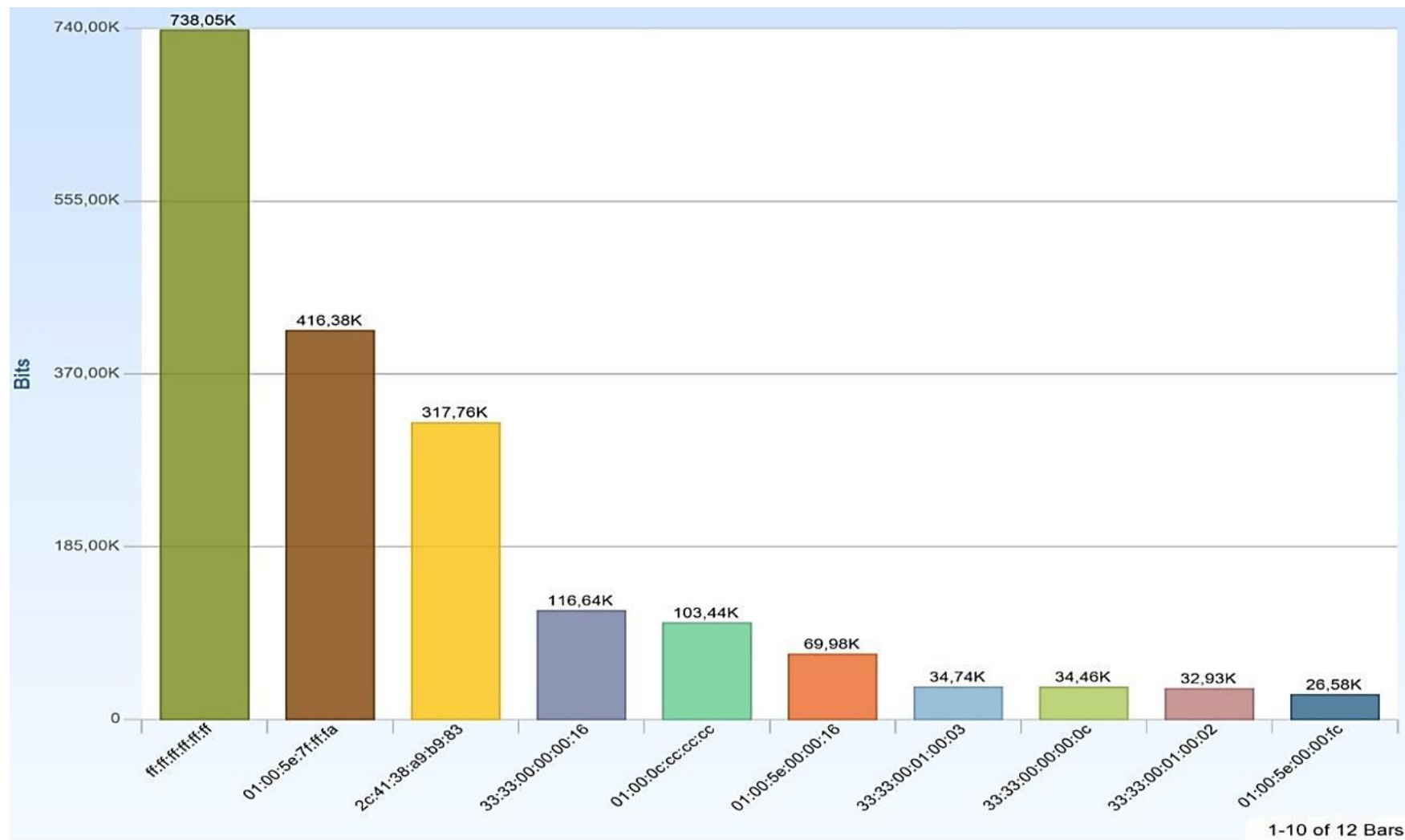


Figura 14: Los destinos principales MAC en bits.
Elaborador Por: Autora de Tesis.

En la siguiente grafico se muestra el anillo de conversación con los puntos finales y conversaciones MAC

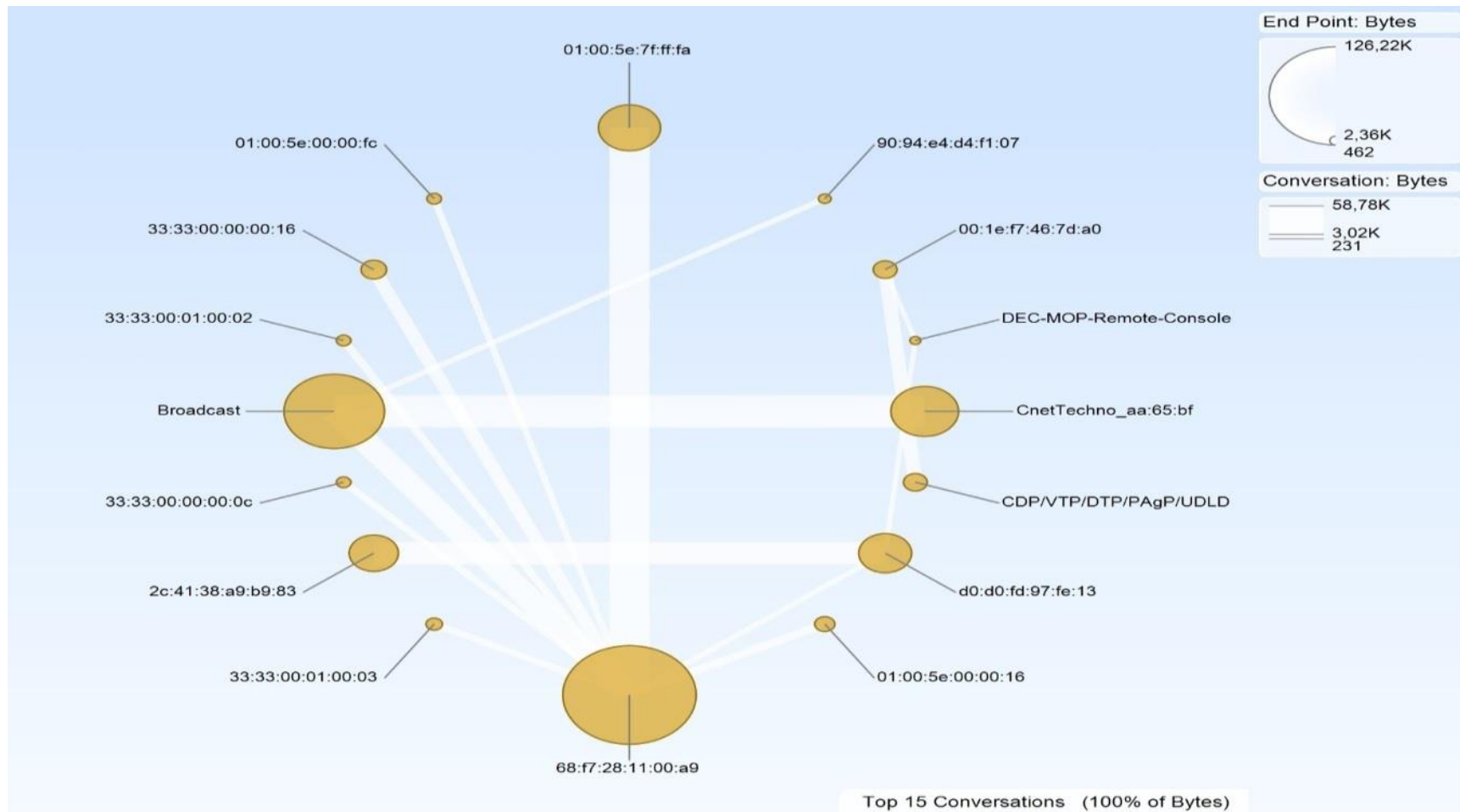


Figura 15: Anillo de conversación con los puntos finales y conversaciones MAC

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Se muestra el porcentaje relativo de Unicast, Multicast y el tráfico de Broadcast

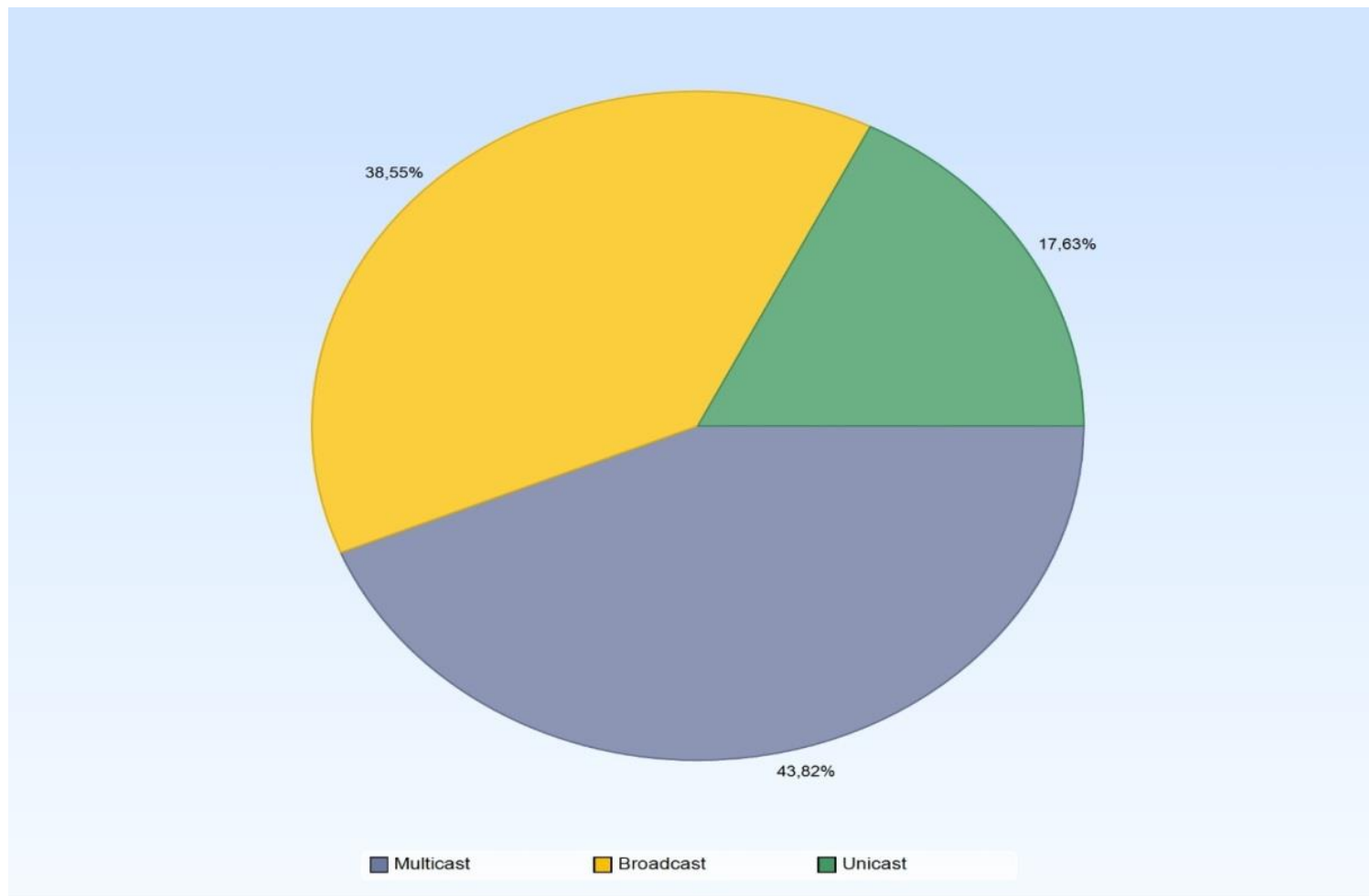


Figura 16: Porcentaje relativo de Unicast, Multicast y el tráfico de Broadcast

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Todo el tráfico, es decir la cantidad de bits transferidos en la red para los diferentes grupos de puertos.

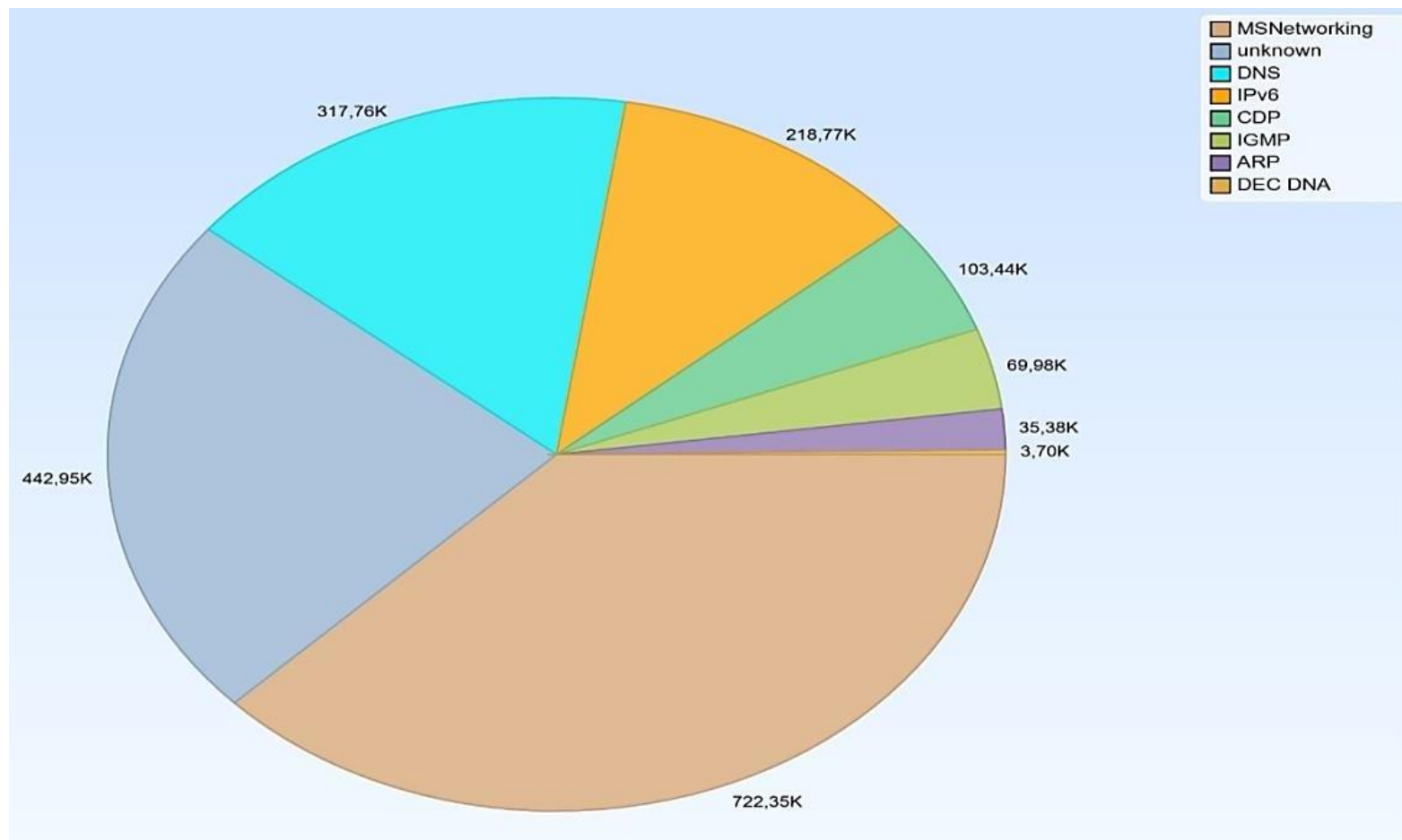


Figura 17: Cantidad de bits transferidos en la red
Elaborador Por: Autora de Tesis.

En la figura 18 se muestra cada entrada incluye el tráfico enviado y recibido por el anfitrión.

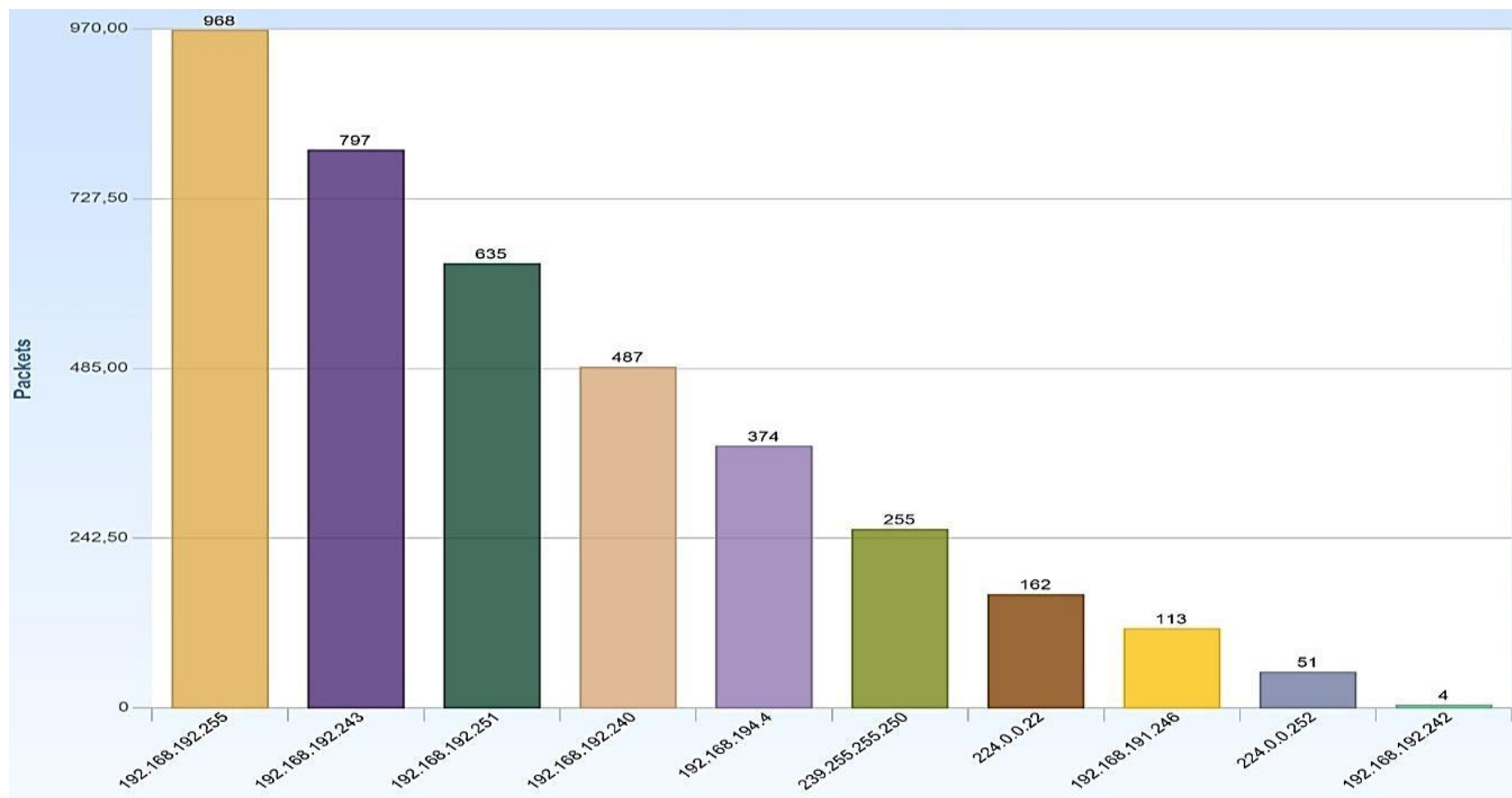


Figura 18: Tráfico enviado y recibido por el anfitrión
Elaborador Por: Autora de Tesis.

Se muestra en la figura la visión en conjunto de las conversaciones entre los clientes de MAC, IP, TCP, UDP e ICMP

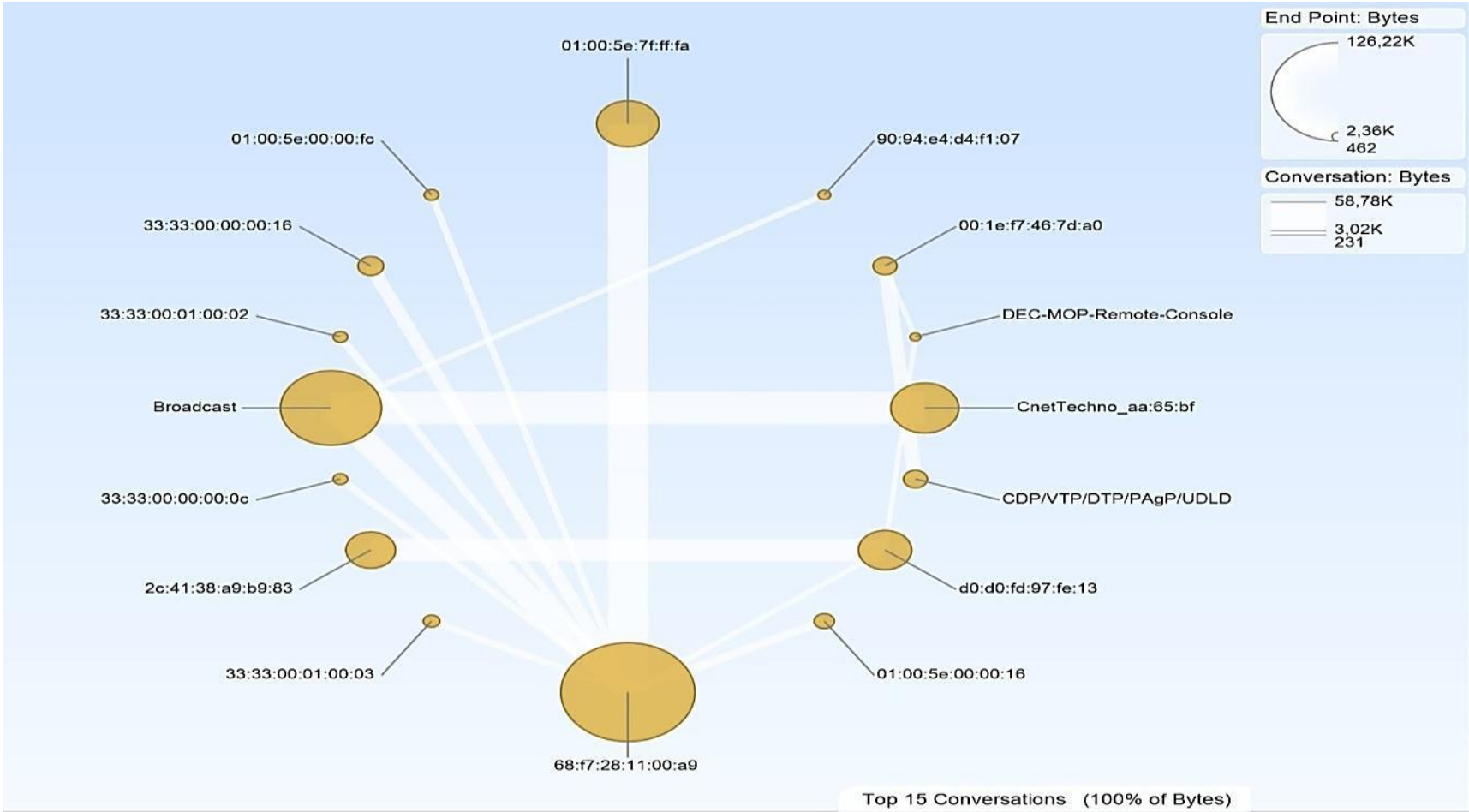


Figura 19: Conversaciones entre los clientes de MAC, IP, TCP, UDP e ICMP

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.5. DISEÑO DE LA RED WIFI CON TDMA.

5.5.1. ESTUDIO DE LOS SECTORES CONSIDERADOS EN LA RED.

El edificio de la Carrera de Salud es el sector idóneo para ubicar el nodo maestro, tiene línea de vista con el lugar escogido en Lodana cantón Santa Ana que conforma el enlace UTM-Lodana, en el actual estudio, el sector es favorecido geográficamente, donde la altura llega a los 51 metros aproximadamente sobre el nivel del mar, además se aprovecha la altura del edificio de cuatro pisos. En la actualidad existe una torre implementada, es utilizada para la red WiFi interna. La Figura 20 muestra la ubicación del lugar escogido el nodo maestro.



Figura 20: Predios de la Universidad Técnica de Manabí.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

La otra ubicación necesaria para la terminar la red WiFi de largo alcance, es la extensión de la Universidad Técnica de Manabí ubicada en el Cantón Santa Ana sector Lodana, su elevación alcanza los 62 metros sobre el nivel del mar. Se representa en la Figura 21 el campus del sector.



Figura 21: Extensión de la UTM, Lodana cantón Santa Ana
Elaborador Por: Autora de Tesis.

En la UTM estará donde se va a gestionar el nodo central de la Red WiFi de largo alcance, está situado en la zona centro norte de la ciudad de Portoviejo, el nodo esclavo está ubicado en la parte rural de Santana al Norte específicamente, la figura 22 muestra la ubicación de los nodos en el mapa de Manabí.

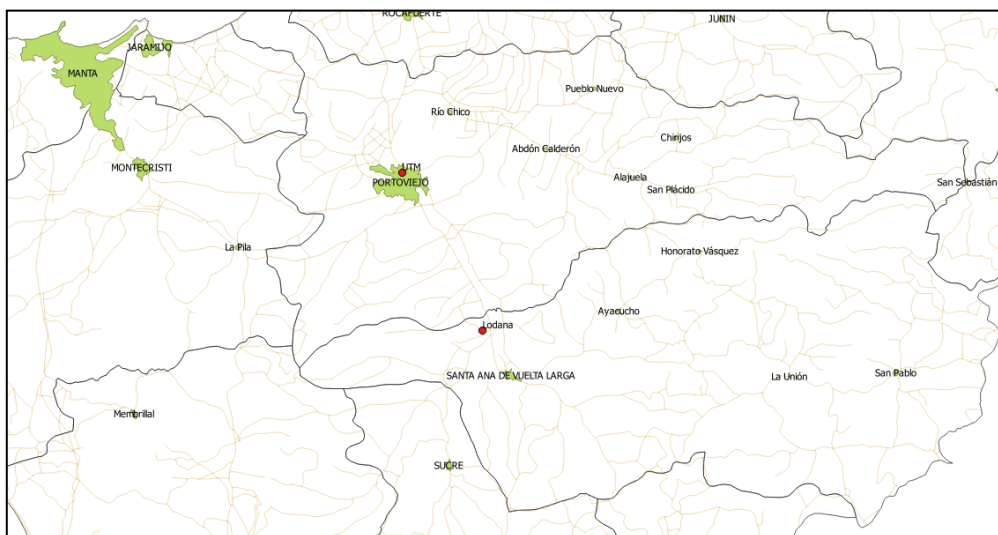


Figura 22 Ubicación geo-referenciada de los nodos del enlace UTM-Lodana.
Elaborador Por: Autora de Tesis.

Las áreas disponen de accesibilidad, pudo ser comprobado después de realizar una visita, a todos los sitios escogidos para realizar el diseño del enlace; además estos sectores se encuentran dotados de energía eléctrica de manera permanente, siendo innecesario utilizar fuentes de electricidad externas. El sector cuenta con cobertura de varias operadoras de telefonía celular, debido a las distancias entre uno y otro punto del enlace este recurso resulta muy práctico para alinear las antenas.

5.5.2. PLANOS DEL DISEÑO DE LAS TORRES.

El nodo maestro-esclavo debe utilizar una elevación considerable en la estructura de la red WiFi, el nodo central (maestro), estará colocado en la zona superior de la facultad de Salud en la Universidad Técnica de Manabí, edificio que consta con 4 pisos en el presente.

El nodo esclavo estará situado en concordancia al diseño topográfico estipulado en el presente estudio.

La Tabla 4, escogidos los puntos para red WiFi de largo alcance, se muestra la información geo-referenciada, con su altura aproximada y los datos resultantes del software Radio-Mobile, comprobado con un GPS, las coordenadas están en formato (UTM) *Datun* WGS84.

Tabla 4: Información Geo-referencial del Enlace UTM-Lodana.

N°	Sitio	Nodo	Latitud	Longitud	Altitud (m)
1	Portoviejo	UTM	560792.16	9884434.44	50,7
2	Santa Ana	Lodana	567812.11	9870699.32	61.8

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Mediante *google earth* se presenta la ubicación de los puntos de cada nodo del enlace UTM-Lodana la Figura 23 ilustra lo indicado.

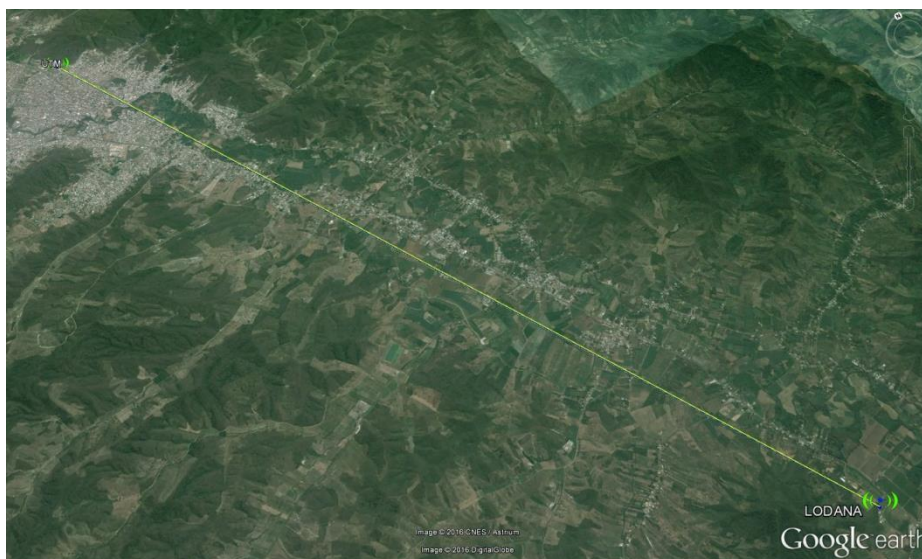


Figura 23: Ubicación de los nodos del enlace mediante google earth.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.5.2.1. TORRES VENTADAS

“La torre de comunicaciones tipo dipolo ventada se caracteriza por ser modular y de sección constante, para instalarse necesitan de cables tensores (denominados vientos) para soportarse. Si su sección es triangular, utilizarán tres direcciones de viento cada 120°, si su sección es cuadrada utilizaran cuatro direcciones cada 90°, dependiendo de su altura las triangulares utilizaran 3, 6, y 9 anclajes, las torres cuadradas son recomendables hasta los 60m. Dependiendo del grado de estabilidad exigida a la torre para el servicio que presten, (tanto en su movimiento vertical o rotacional) necesitaran de estabilizadores.

La elevación de las torres para los nodos esclavos, debe ser al menos 30 metros, ya que en el sector rural hay que considerar la altura de los árboles (vegetación), los mismos que pueden generar interferencia en la comunicación entre los enlaces. Dichas torres sostendrán las antenas de los enlaces de internet de la red WiFi.

Las torres venteadas son mucho más económicas pero ocupan un área considerable, ya que los vientos deben estar anclados a una distancia de la base que es por lo menos la tercera parte de la altura.

Se sugiere que una torre de esta magnitud, incluya 9 “vientos” en total las mismas que se distribuirán en 3 bases fundidas en concreto, para soportar el anclaje, los ángulos (aproximados 60°), vistos desde el centro de la torre, los cuales estarán equiespaciados.

Algunas características que se deben tomar en cuenta al momento de construir este tipo de torres:

- Tramo (segmentos) de torre de 3 metros de altura.
- Tubo galvanizado, peldaños tipo "Z" o tipo "L".
- Medida interior: 25 x 25 x 25cms.
- Promedio de tramos apilables: 10 tramos (30mts).
- Tensores, anclas y cables de acero.
- Pararrayos Luz Baliza” (Peñarrieta Bravo, 2015)

En la Figura 24 se muestra el diseño de una torre ventada, la cual serviría para instalar en el futuro la red WiFi de largo alcance.

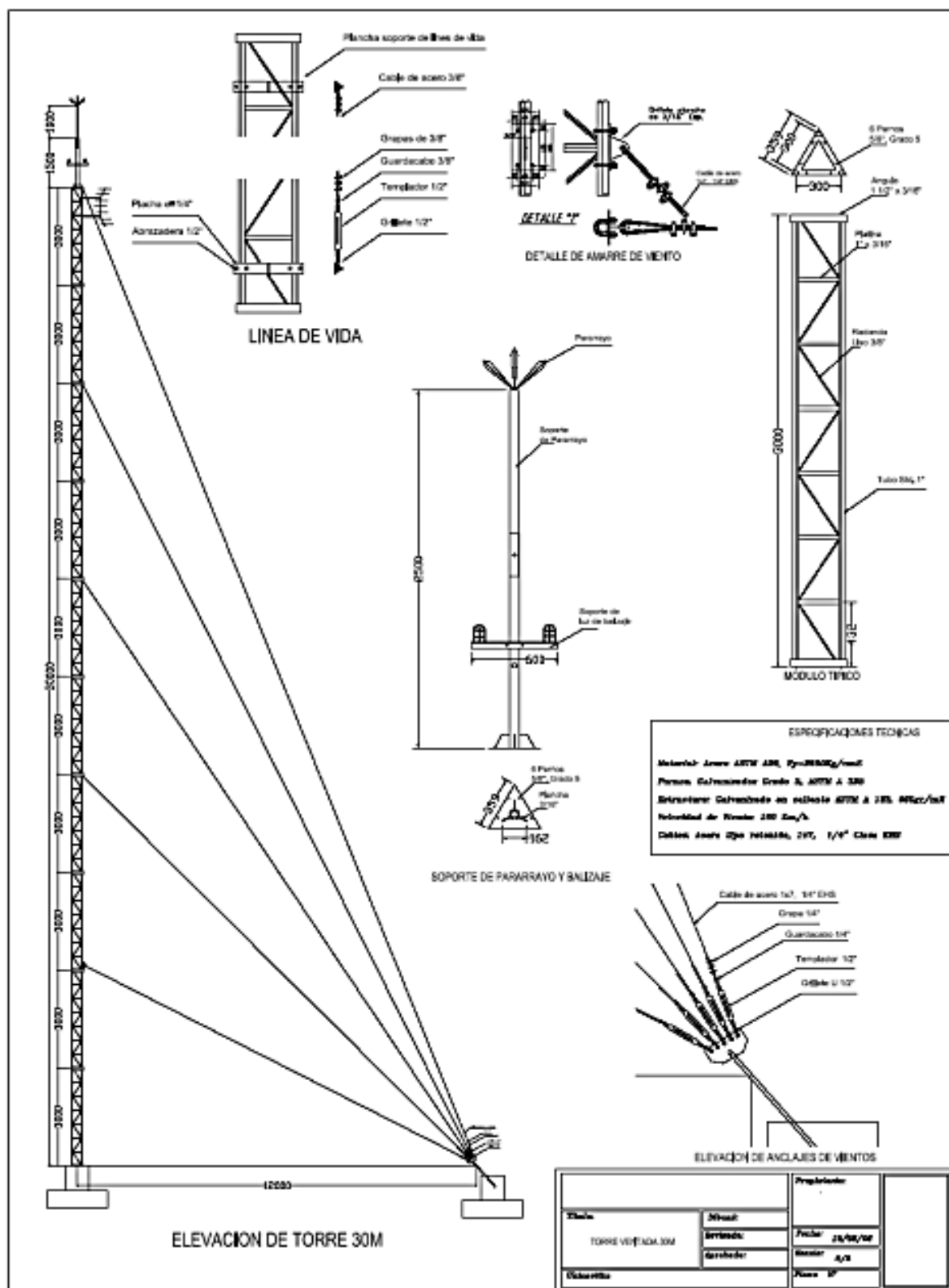


Figura 24: Arquitectura de una Torre Ventada.

Elaborador Por: (Peñarrieta Bravo, 2015)

Fuente: (Peñarrieta Bravo, 2015)

5.5.2.2. MONTAJES DE LOS EQUIPOS EN LA TORRE.

“Luego de establecer los lugares para el diseño de la red WiFi de largo alcance, se podrá realizar la implantación de las torres, en lo alto se realizará el montaje de los equipos, las antenas direccional, los *Routers* inalámbricos, ubicados en una caja protectora para exteriores, a pocos centímetros de la antena, ya que el cable coaxial conectado desde la antena, al puerto de la tarjeta inalámbricas, por problemas de atenuación debe estar a menos de 2 metros.” (Peñarrieta Bravo, 2015)

En la Figura 25 se presenta un diseño de un enlace Maestro-Esclavo con la ubicación de las antenas alineadas punto a punto.

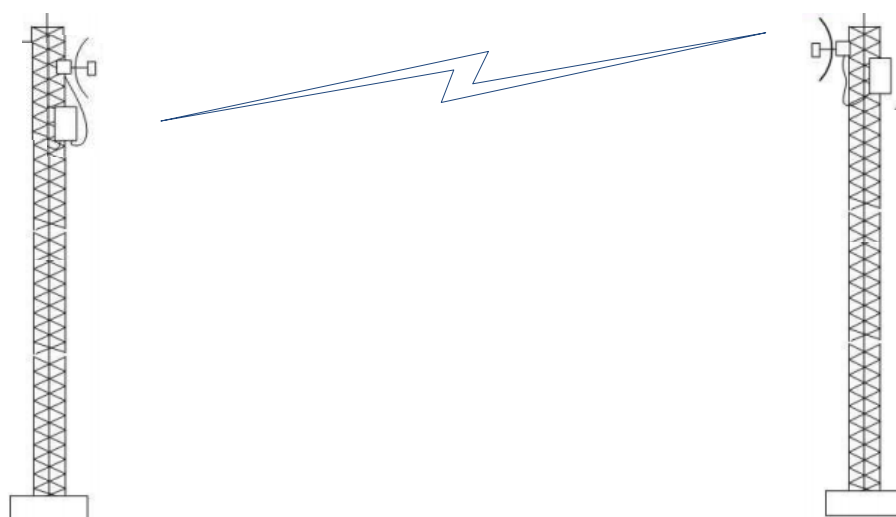


Figura 25: Esquema Maestro- Esclavo
Elaborador Por: Autora de Tesis.

“Para la alineación de las antenas direccionales, utilizadas para enlaces de largas distancias, es necesario el ángulo de elevación y el azimut respectivo. Para ello se precisa el uso de herramientas como: GPS, Brújulas, *Software* (Radio-Mobile), radio comunicadores entre otros.” (Peñarrieta Bravo, 2015)

5.5.3. PROPUESTA DE EQUIPOS PARA LOS ENLACES

“En el mercado existe una gama amplia de antenas y routers inalámbricos con características similares, sus diferencias radican en la potencia de transmisión, sensibilidad en la recepción, costos. El mecanismo de control de acceso al medio, hace referencia a la subcapa MAC, el estándar original IEEE 802.11 propuso CSMA para controlar el acceso al medio, hace varios años, se le agregó una mejora CA (Collision Avoidance), que es la base de *Ethernet*; es decir: CSMA/CA. Otro tipo de control de acceso al medio es TDMA (Time Division Multiplex Acces) lo utilizan marcas propietarias como: Mikrotik, Ubiquiti, Cambium Network, otros.” (Peñarrieta Bravo, 2015)

En el presente caso de estudio se plantea la utilización de tecnología WiFi con el mecanismo de control de acceso al medio TDMA. Los equipos sugeridos deberán emplearse con esta técnica de control, fundamentales para ejecutar una transmisión de datos en enlaces de larga distancia.

Para la red WiFi rural de UTM-Lodana se proponen los siguientes equipos:

5.5.3.1. ANTENA.

Ubiquiti *AIRMAX* con (TDMA) Optimiza el rendimiento inalámbrico para instalaciones al aire libre, Ubiquiti Networks TM introdujo la plataforma airMAX® para superar el rendimiento tradicional de Wi-Fi basada 802.11, punto a punto (PtP) y punto a multipunto (PtMP) en redes exteriores. El núcleo de la plataforma AirMax de Ubiquiti es el protocolo TDMA (Time Division Multiple Access), que proporciona un alto rendimiento, capacidad y escalabilidad para enlaces de largas distancias. El protocolo TDMA dinámicamente asigna tiempo a los clientes activos y proporciona un mayor

rendimiento e inmunidad al ruido en comparación con el protocolo tradicional 802.11 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces / Collision Avoidance).

El protocolo (CSMA/CA) fue diseñado para su uso en interior; los dispositivos inalámbricos pueden detectar entre sí y coordinar el acceso inalámbrico. Sin embargo, en ambientes al aire libre, los dispositivos inalámbricos llamados estaciones utilizan antenas altamente direccionales para conectar con el AP (punto de acceso) desde distancias que pueden abarcar varios kilómetros. Debido a que las estaciones no pueden percibir entre sí, se convierten en "nodos ocultos" y no pueden coordinar el acceso al canal inalámbrico. Así, el AP experimenta frecuentes colisiones de estaciones que transmiten simultáneamente, estas colisiones se acumulan de manera exponencial, esto implica un aumento de la latencia y la reducción de rendimiento.

El protocolo TDMA resuelve el problema "nodos ocultos". El AP divide el canal inalámbrico en intervalos de tiempo y se asigna un intervalo de tiempo predeterminado para cada estación conectada. Esto elimina esencialmente la posibilidad de transmisión de las estaciones al mismo tiempo, eliminando así las colisiones en el AP.

El protocolo TDMA maximiza la eficiencia de tiempo de uso, realiza un seguimiento de las estaciones con mayor actividad, divide el tiempo de emisión a disposición de esas estaciones. Por ejemplo, las estaciones inactivas pueden tener el tiempo dedicado en el AP y lo utilice; el protocolo TDMA redistribuye el tiempo dedicado a las estaciones activas de manera que no se pierde tiempo en el aire.

AirMAX asigna el acceso prioritario de voz y vídeo, el AP puede controlar la programación de los intervalos de tiempo para que puedan dar prioridad en el acceso a las estaciones en una sesión de voz o vídeo. Esto lo hace de forma automática sin necesidad de

configuración necesaria sobre los propios clientes. QoS inteligente (Calidad de Servicio) prioridad para voz y video, en *streaming* asegura la transmisión con menor latencia.

La antena factible en el diseño de la red WiFi es la Rocketdish de Ubiquiti direccional que resulta con una ganancia de 30 dBi, la forma de operar es de una frecuencia 5 GHz. La Figura 26 presenta la antena que se implementaría en el diseño de la red WiFi Rural de UTM-Lodana.



Figura 26: Antena Rocketdish de ubiquiti.

Elaborador Por: Wireless Tirgre.

Fuente: (Ubiquiti, 2016)

“La aleación del metal de la antena cuenta con una fundición de aluminio reflectora para una buena Recepción, es fácil de instalar. La superficie utiliza un revestimiento compuesto de un polvo UV, brindando mayor durabilidad y mejorando la estética. El diseño de marco es abierto minimiza la carga del viento.

La antena HG2424EG se suministra con una inclinación de 60 grados y el kit de montaje para el mástil es giratorio. Esto permite la instalación en varios grados de inclinación para facilitar la alineación del haz. Se puede ajustar hacia arriba o hacia abajo de 0 ° a 60 °.” (Peñarrieta Bravo, 2015)

Este tipo de antenas es compatible con varias Estaciones Bases, incluye dos conectores hembras para el cable coaxial (*pigtail*) que se conecta con las tarjetas inalámbricas.

5.5.3.2. ESTACIÓN BASE AIRMAX

Ubiquiti Rocket M es un resistente radio, de alta potencia, MIMO 2×2 muy lineal con el funcionamiento del receptor mejorado. Cuenta con un buen rendimiento (50km) y la velocidad de avance (de 150 Mbps reales IPAC / IP). El dispositivo fue diseñado específicamente para al aire libre (*bridge*) punto a punto y PTMP.

La Estación base AirMax y la antena Rocket M, se desarrollaron para trabajar en conjunto. La Instalación no requiere herramientas especiales es sencilla incluso existen muchos manuales en la página oficial de estos productos. La Figura 27 muestra una imagen de la estación base Rocket M.



Figura 27: Estación Base *Rocket M* de *Ubiquiti*.

Elaborador Por: Wireless Tirgre.

Fuente: (Ubiquiti, 2016)

5.5.3.3. CABLE PIGTAIL

“Es un cable coaxial, con conectores necesario para la conexión entre la antena y la tarjeta inalámbrica acoplada en el router, dicho cable no posee mucho revestimiento son delgados, vulnerables a la atenuación de la señal, por ello se recomienda utilizar el pigtail lo más corto posible, no hay que exceder los 30 cm.” (Peñarrieta Bravo, 2015)

La Figura 28 presenta de manera explicativa la estructura de un cable pigtail con dos conectores, ambos extremos son conectores hembra, van conectados, a los conectores machos de la antena y al conector de estación Base Rocket M, respectivamente.

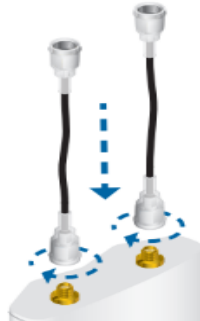


Figura 28 Cable coaxial (Pigtail) para *RocketM*.

Elaborador Por: Wireless Tirgre.

Fuente: (Ubiquiti, 2016)

5.5.4. DISEÑO DE LA RED WIFI DE LARGA DISTANCIA.

En la Figura 29 muestra el diseño final de la Red WiFi de largo alcance a través del espectro no licenciado, para autorizar el acceso al servicio de internet, en la extensión de la universidad Técnica de Manabí ubicada en el cantón Santa Ana sector Lodana, a través del enlace UTM-Lodana WILD con TDMA.

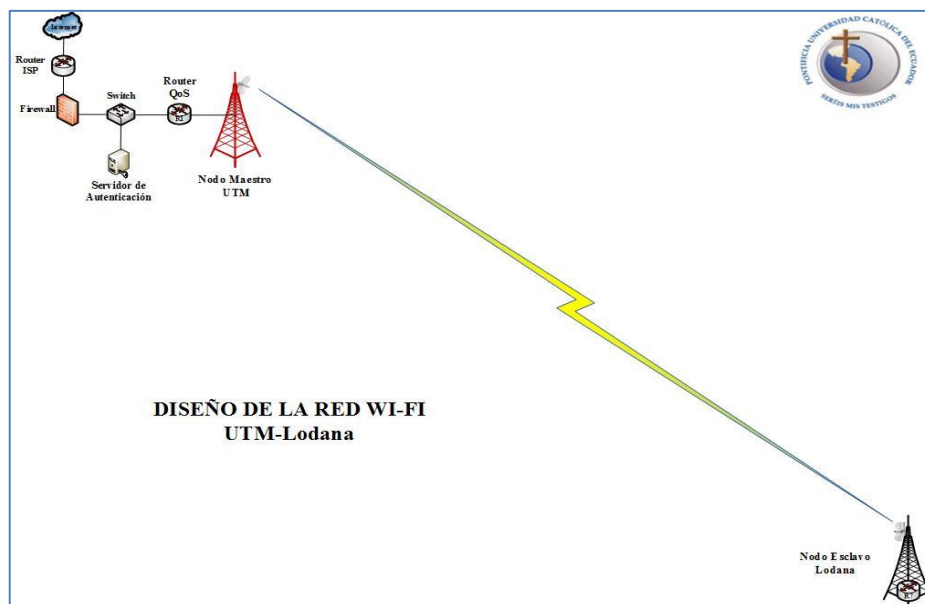


Figura 29: Diseño de la Red Wi-Fi UTM-Lodana.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6. SIMULACIÓN DEL DISEÑO Y EL ENLACE MEDIANTE SOFTWARE.

5.6.1. SIMULACIÓN DEL DISEÑO WILD.

5.6.1.1. RADIO MOBILE

“Radio-Mobile es un programa de simulación de radio-propagación, gratuito desarrollado por Roger Coudé, pensado para los radioaficionados y uso humanitario, pero en el ámbito educativo lo usan para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones determinada, entre otras funciones.

“El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice.

Radio-Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo estéreo.

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m)” (Roger Coudé, 2016)

La figura 30 presenta el modelo, la ventana inicial y las múltiples opciones del software Radio-Mobile.

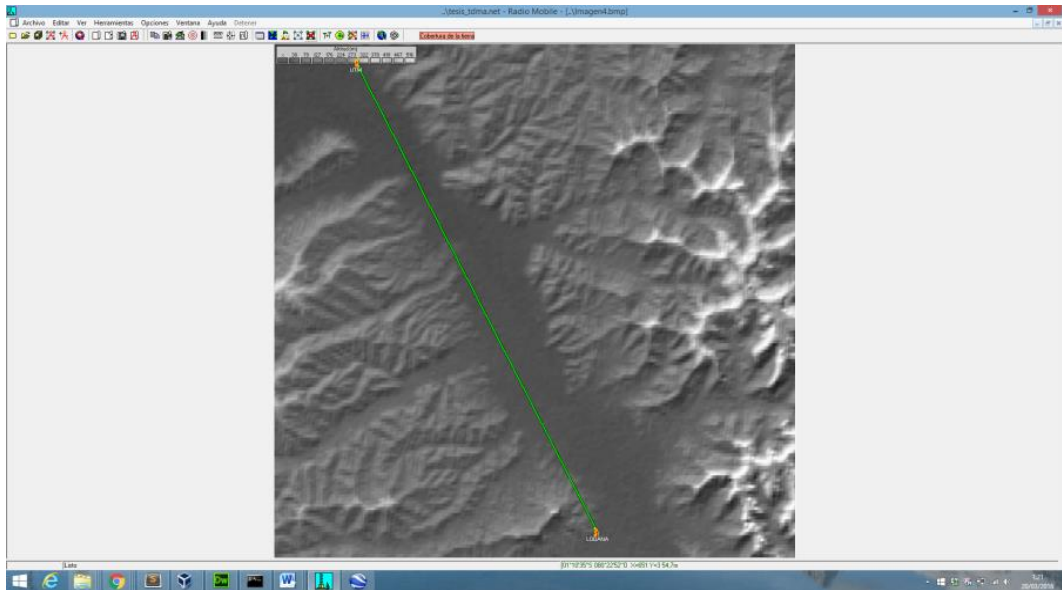


Figura 30: Entorno de Radio Mobile.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Las coordenadas referidas en la parametrización de Radio-Mobile son los sitios definidos en el presente estudio, el nodo central, las redes menores que se conformaron y el sistema utilizado se detallan en la Figura 31, cabe indicar que esta información se obtuvo en el software Radio-Mobile, Administración de Red.

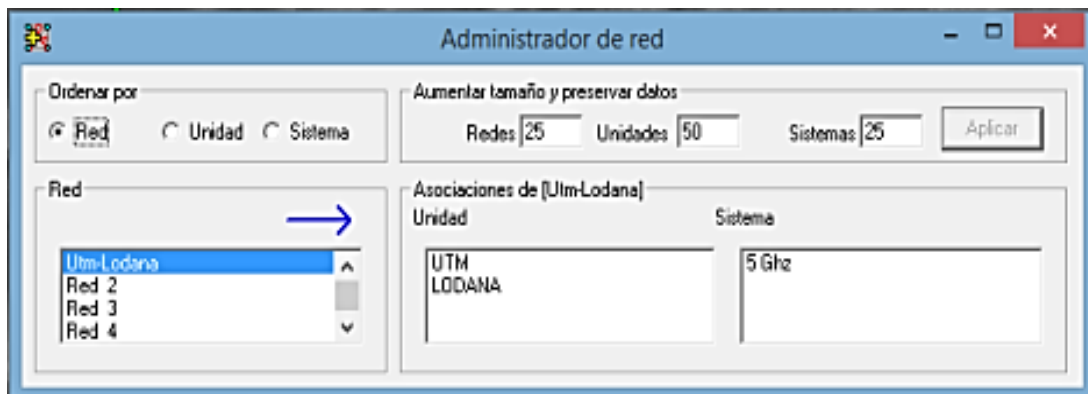


Figura 31: Administración de Red de la Simulación.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.1.2. ENLACE UTM-LODANA.

La Tabla 5 muestra los resultados de la parametrización del enlace UTM-Lodana realizado en Radio-Mobile, reproduce el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

Tabla 5: Resultados de la simulación del Enlace UTM-Lodana en Radio Mobile.

N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	30 dBi ganancia
2	Distancia UTM-Lodana	15,5 km
3	Azimut norte verdadero	153,10°
4	Azimut Norte Magnético	154,45°
5	Angulo de elevación	0,0353°
6	Variación de altitud	64,2 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	1,5F1 a 13,9km
9	Frecuencia promedio	5375 MHz
10	Espacio Libre	103,8 dB
11	Obstrucción	0,6 dB
12	Pérdida de propagación total	137,9 dB
13	Ganancia del sistema de UTM-Lodana	177,0 dB
14	Ganancia del sistema de Lodana-UTM	177,0 dB
15	Peor recepción	39,1 dB

Elaborador Por: Autora de Tesis.

La Figura 32 presenta los datos de la simulación de enlace UTM-Lodana, mediante *Radio-Mobile*

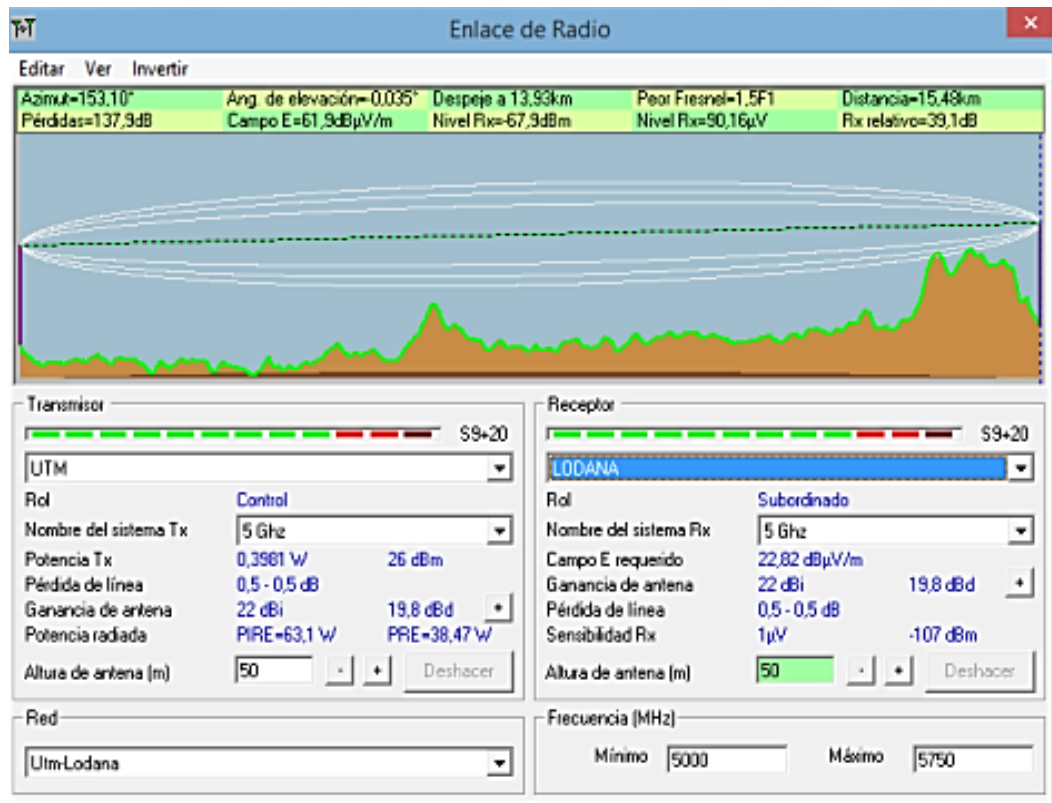


Figura 32: Perfil topográfico del enlace UTM-Lodana mediante Radio Mobile

Elaborador Por: Autora de Tesis.

La Figura 33 muestra el resultado de la simulación de enlace UTM-Lodana, mediante *Google Earth*.

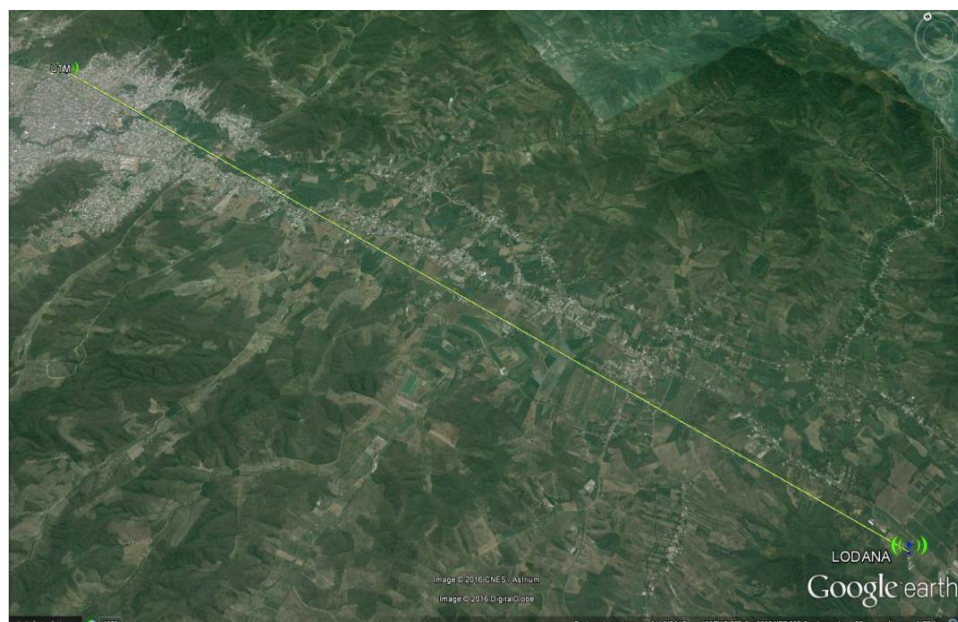


Figura 33: Enlace UTM-Lodana, mediante Google Earth.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.1.3. ENLACE LODANA- UTM.

La Tabla 6 presenta los resultados de la parametrización del enlace UTM-Lodana realizado en Radio-Mobile, reproduce el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

Tabla 6: Resultados de la simulación del Enlace UTM-Lodana en Radio Mobile.

N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	30 dBi ganancia ganancia
2	Distancia UTM-Lodana	15,5 km
3	Azimut norte verdadero	333,10°
4	Azimut Norte Magnético	334,47°
5	Angulo de elevación	0,1040°
6	Variación de altitud	64,2 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	1,5F1 a 1,6 km
9	Frecuencia promedio	5375 MHz
10	Espacio Libre	130,8 dB
11	Obstrucción	0,6 dB
12	Pérdida de propagación total	137,9 dB
13	Ganancia del sistema de UTM-Lodana	177,0 dB
14	Ganancia del sistema de Lodana-UTM	177,0 dB
15	Peor recepción	39,1 dB

Elaborador Por: Autora de Tesis.

La Figura 34 muestra el resultado de la simulación de enlace Lodana- UTM, mediante *Radio-Mobile*.

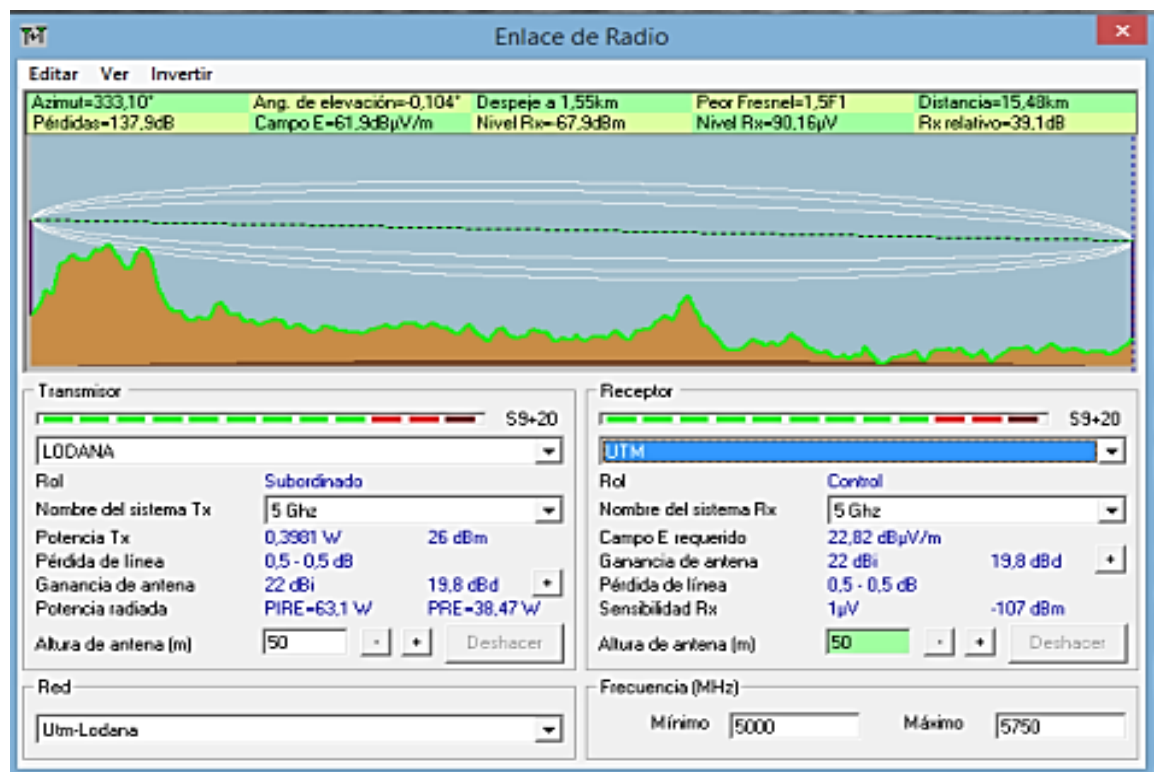


Figura 34: Perfil topográfico del enlace Lodana- UTM mediante Radio Mobile.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Figura 35 muestra el resultado de la simulación de enlace Lodana- UTM, mediante Google earth..

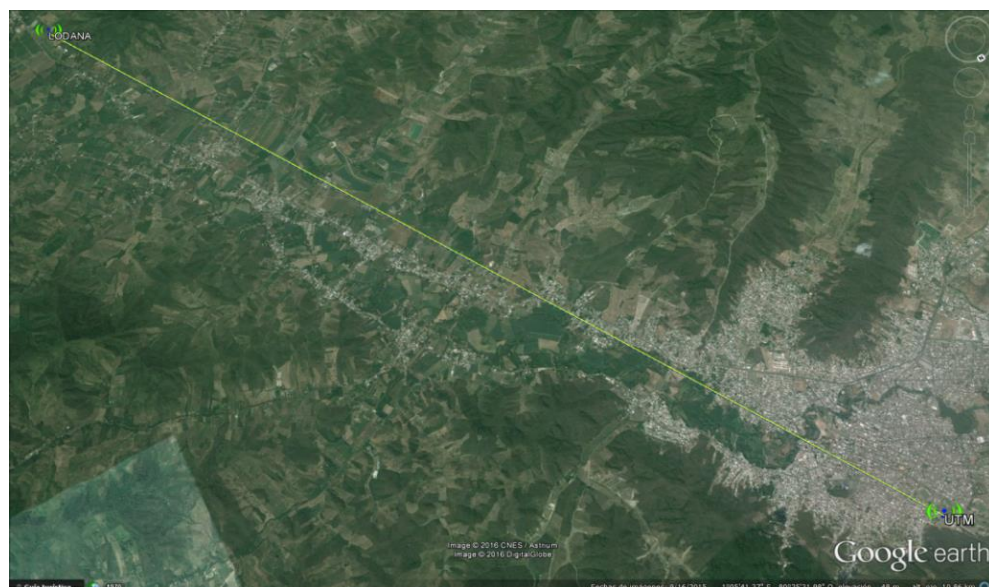


Figura 35: Enlace UTM-Lodana, mediante Google Earth.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Ubiquiti presenta a los diseñadores de redes una calculadora de enlaces inalámbricos externas para largas distancias (outdoor wireless link calculator), la cual se ejecuta en línea, esta se sincroniza con Google Earth; es parametrizable se escogen valores como la frecuencia de funcionamiento del enlace, el tipo de tecnología, altura y ganancias de las antenas. Como resultado se obtiene una gráfica como se muestra en la Figura 36, donde se muestra el enlace punto a punto con línea de vista.

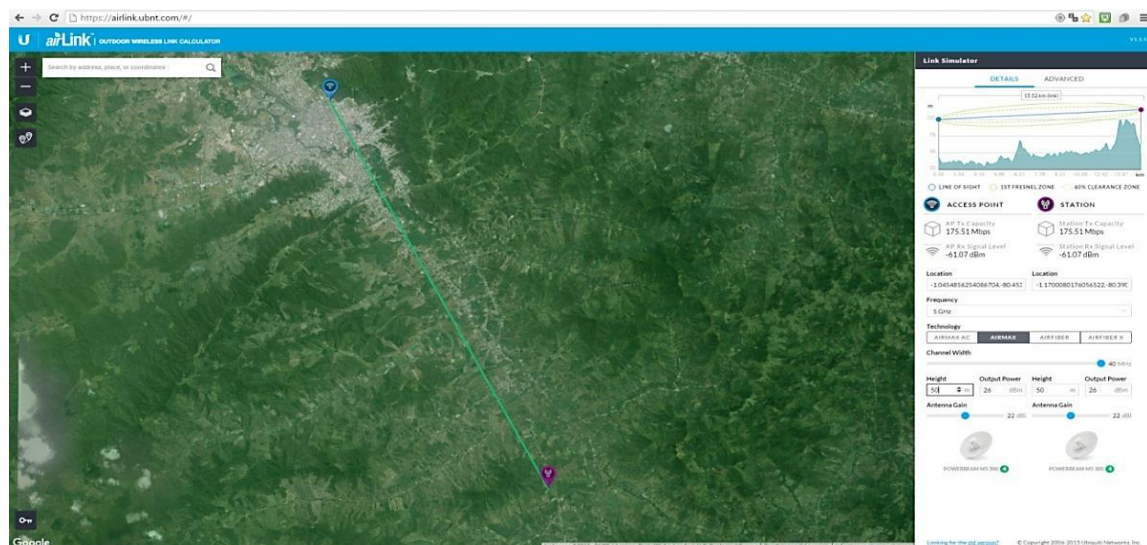


Figura 36: Simulación del Enlace UTM-Lodana, Ubiquiti.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Esta herramienta justifica el resultado de la simulación del diseño mediante Radio Mobile en sincronización con Google Earth Figura 35, es decir la figura 36 demuestra que es factible el enlace de larga distancia, posee línea de vista; la frecuencia usada es 5.8 Ghz y protocolo de acceso al medio es TDMA, ya que Ubiquiti utiliza en sus equipos de comunicación inalámbrica esta tecnología.

5.6.2. SIMULACIÓN DEL ENLACE, MEDIANTE NS-3.

5.6.2.1. NS-3

“El ns-3 es un simulador de redes de eventos discretos dirigidos principalmente para la investigación y el uso educativo. El proyecto ns-3, iniciado en 2006, es un proyecto de código abierto en desarrollo.

Ns-3 no es una extensión compatible con versiones anteriores de ns-2 ; se trata de un nuevo simulador. Los dos simuladores son ambos escritos en C ++, pero ns-3 es un nuevo simulador que no soporta los API NS-2. El proyecto ns-2 seguirá manteniendo, mientras que ns-3 se está construyendo, y estudiará los mecanismos de transición e integración.

Ns-3 ha sido desarrollado para proporcionar una plataforma abierta y extensible a la red de simulación, para la creación de redes de investigación y educación. En resumen, ns-3 proporciona modelos de cómo funcionan las redes de paquetes de datos, proporciona un motor de simulación para los usuarios, para llevar a cabo experimentos de simulación. Algunas de las razones para utilizar ns-3 incluyen la realización de estudios que son más difíciles o imposibles de realizar con sistemas reales, para estudiar el comportamiento del sistema en un entorno altamente controlable, reproducible, y para aprender acerca de cómo funcionan las redes. Los usuarios tendrán en cuenta que el modelo disponible en el ns-3 se centra en el modelado de la forma en protocolos de Internet y redes de trabajo, pero ns-3 no se limita a los sistemas de Internet; varios usuarios están utilizando ns-3 para modelar sistemas no basados en Internet.

Existen muchas herramientas de simulación para estudios de simulación de red. A continuación se presentan algunas características distintivas de ns-3 en contraste con otras herramientas.

Ns-3 está diseñado como un conjunto de librerías que se pueden combinar entre sí y también con otras librerías de software externos. Mientras que algunas plataformas de simulación proporcionan a los usuarios un único entorno de interfaz de usuario, gráfica integrada en la que toda las tareas se llevan a cabo, ns-3 es más modular en este sentido. Varios animadores externos y el análisis de datos y herramientas de

visualización se pueden utilizar con ns-3. Sin embargo, los usuarios deben esperar trabajar en la línea de comandos y con herramientas de C ++ y / o de desarrollo de software Python.

Ns-3 se utiliza principalmente en sistemas Linux, aunque existe soporte para FreeBSD, Cygwin (para Windows), y el apoyo de Visual Studio nativo de Windows está en el proceso de desarrollo.

Ns-3 no es un producto de software con apoyo oficial de cualquier empresa. El apoyo a ns-3 se realiza sobre una base de mejor esfuerzo en NS-3.” (Ns-3, 2015)

5.6.2.2. NS-3 EN ENLACES DE LARGAS DISTANCIAS.

Para simular enlaces WiFi de largas distancias es necesario modificar el simulador Ns-3, y esto debe ser de manera integral, existen varios estudios realizados que describen los pasos a realizar para simular enlaces a grandes distancias con tecnología WiFi.

“El proyecto TUCAN3G desarrolló un parche para Ns-3, con el fin de simular y analizar el desempeño de los enlaces de larga distancia basados en las tecnologías WiFi (WiLD). Varias secuencias de comandos básicos proporcionan la comprobación de estas tecnologías para su uso en enlaces de larga distancia. Con el fin de permitir una simulación fiable, algunos cambios se han hecho en los módulos Ns-3, específicamente en los módulos de aplicaciones WiFi.

Este kit se desarrolló en la versión Ns-3.18. Para efectos de esta simulación se lo acopló a la versión Ns-3.22.” (Proyecto Tucan3G)

5.6.2.3. PARAMETRIZACIÓN DEL SIMULADOR.

El enlace que se simuló es el que se muestra en la Tabla 7, el mismo que tiene una distancia de 15,5 Km, desde el nodo maestro ubicado en la Universidad Técnica de Manabí en Portoviejo, hacia el nodo esclavo en el campus de Lodana, Cantón Santana Provincia de Manabí.

Tabla 7: Parámetros principales de la Red UTM-Lodana.

Enlace	Nodo origen	Nodo destino	Distancia del Enlace (m)
UTM-Lodana	UTM	Lodana	15500

Elaborador Por: Autora de Tesis.

La simulación se llevó a cabo en el sistema operativo Ubuntu 14.04 LTS, el compilador es C++ versión 4.3, Ns3.22 es el simulador utilizado con la inclusión del parche para largas distancias TUCAN3G.

La Tabla 8 muestra las características y configuraciones principales del script utilizado para las simulaciones mediante ns-3.22 con la mejora para enlaces WiFi en largas distancias.

Tabla 8: Características y configuraciones principales del script.

Valores por defecto utilizados en este script	
Estándar:	IEEE 802.11n
Frecuencia:	5 GHz
Ancho de banda:	20 MHz
Intervalo de guarda:	largas (800ns)
SLOTTIME:	Optimizado
Fragmentación:	Desactivado
CTS / RTS:	Desactivado
BlockAck:	Desactivado
QoS:	EDCA no se utiliza, pero disponible
Protocolo de transporte:	UDP
Propagación del modelo:	FixedRssLossModel y ConstantSpeedPropagationDelayModel
Bidireccional flows:	Sí

Elaborador Por: Autora de Tesis.

En la configuración inalámbrica de algunos de los dispositivos actuales se puede ver como la Velocidad de transmisión (Data Rate) o Tasa de Transferencia además aparecen varias opciones adicionales como MCS0, MCS1, otras.

MCS (Modulation and Coding Scheme) Sistema de Modulación y Codificación. Es un parámetro importante en la simulación. El estándar 802.11n define un total de 77 MCS. Cada MCS es una combinación de una modulación determinada (BPSK, QPSK, 64-QAM), la tasa de codificación o Coding Rate (por ejemplo, 1/2, 3/4), el intervalo de guarda o Guard Interval (800ns o 400ns) y el número de secuencias espaciales o Spatial Streams. Todos los puntos de acceso 802.11n, deben soportar (como mínimo) desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7.

A continuación, se muestra la Tabla 9 con la combinación de parámetros para cada índice MCS del 0 al 11 con los cuales se realizó la simulación. Es importante indicar que el parche para largas distancias de NS-3, simula solo con el canal de 20 Mhz.

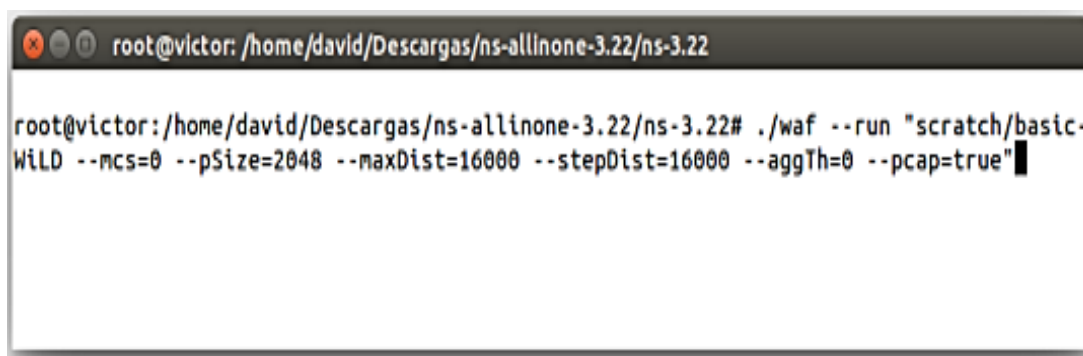
Tabla 9: Parámetros MCS para 20 MHz.

M SC	Spa tial stream	Modulati on type	Co ding rate	Data rate	
				800	400
0	1	BPSK	1/2	6,50	7,20
1	2	QPSK	1/2	13,00	14,40
2	2	QPSK	3/4	19,50	21,70
3	4	16-QAM	1/2	26,00	28,90
4	4	16-QAM	3/4	39,00	43,30
5	6	64-QAM	2/3	52,00	57,80
6	6	64-QAM	3/4	58,50	65,00
7	6	64-QAM	5/6	65,00	72,20
8	1	BPSK	1/2	13,00	14,40
9	2	QPSK	1/2	26,00	28,90
10	2	QPSK	3/4	39,00	43,30
11	4	16-QAM	1/2	52,00	57,80

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.2.4. PRUEBAS DE LOS ENLACES

Para realizar las simulaciones se necesita del terminal de Ubuntu, y luego acceder al directorio donde está ubicado el archivo *ns-allinone-3.22/ns-3.22/scratch/basic-WiLD.cc*, y ejecutar `./waf --run` la Figura 37 muestra lo indicado.



```
root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22
root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22# ./waf --run "scratch/basic-WiLD --mcs=0 --pSize=2048 --maxDist=16000 --stepDist=16000 --aggTh=0 --pcap=true"
```

Figura 37: Parámetros de la simulación.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Para la ejecución de secuencias de comandos `c++` de un script en Ns-3, es necesario el elemento `./Waf --run`.

En la Figura 39 se muestran valores de algunas variable necesarias para la obtención de la simulación. En la Tabla 10 se explica el uso y alcance de las mismas.

Tabla 10: Descripción de las variables usadas en la simulación del enlace WiLD, UTM-Lodana.

N°	Parámetro	Descripción
1	--mcs:	Esquema de modulación y codificación utilizado. Diferentes valores de MCS se pueden utilizar, de 0 a 15, que incluye SISO y MIMO.
2	-- pSize:	Tamaño de paquete fijo utilizado para la simulación en bytes. Este valor se corresponde con el tamaño de APP nivel. Es necesario tener en cuenta la sobrecarga de protocolo ya que los resultados se dan en el nivel MAC.
3	--MaxDist:	Máxima distancia en metros a ensayar. La secuencia de comandos probar diferentes distancias hasta llegar a esta distancia.
4	--stepDist:	El salto de distancia en metros a configurar. Este conjunto de parámetros el aumento de la distancia añadió en cada simulación. Por ejemplo, si "maxdist = 30000" y "stepDist = 5000", 7 simulations se llevarán a cabo a los 5, 5005, 10005, 15005, 20005, 25005 y 30005 metros

5	--aggTh:	Umbral de agregación utilizado. Esto configurará el nivel de agregación presente en el enlace WiLD.
6	--ackOpt:	Ajuste de tiempo de espera ACK para un comportamiento normal. Si es verdad, esta opción ajustará la ACKTimeout de manera óptima para obtener el máximo rendimiento en cada distancia. Si es falso, se utilizará el valor ACKTimeout definido en la norma, con la correspondiente disminución del rendimiento de partida de una distancia específica (generalmente 27 km).
7	--pcap:	Este script simula un enlace Wi-Fi de larga distancia (WiLD) de una manera sencilla. Ha sido desarrollado para obtener valores de rendimiento, latencia, jitter y pérdidas cuando el enlace está trabajando en el punto de saturación para diferentes distancias con una configuración de enlace específico (MCS, tamaño del paquete, el umbral de agregación y acuse de recibo de ajuste de tiempo de espera) Genera un archivo de traza Pcap. Si es "true".

Elaborador Por: Autora de Tesis.

En esta simulación, se dan los resultados de rendimiento, latencia, jitter y pérdidas en el punto de saturación para la distancia del caso de estudio comprendido entre 0 km y 15.5 km, sin intervalos puesto que el enlace no necesita repetidores. El MCS se puede utilizar de 0 a 15, pero se realizaron simulaciones hasta el MCS 11, no se realiza la agregación su valor es 0 y el tamaño del paquete a nivel de APP es de 1500 bytes en el primer caso y 2048 bytes en el segundo.

5.6.2.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al ejecutar el script de la simulación de acuerdo a los parámetros establecidos en la ejecución (Figura 37), el compilador de Ns3 muestra los resultados en el terminal como se muestra en la Figura 40, los paquetes analizados corresponden a los enviados a través del protocolo de transporte UDP, 65000 es la inyección de *data rate*, cuyo tiempo de duración de la simulación del enlace es 15 segundos, como se aprecia en la mencionada imagen.


```
root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22

root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22# ./waf --run "scratch/bast
c-WiLD --mcs=7 --pSize=2048 --maxDist=16000 --stepDist=16000 --aggTh=0 --pcap=true"
Waf: Entering directory ` /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22/build'
Waf: Leaving directory ` /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22/build'
'build' finished successfully (0.788s)

*****
Beginning simulation with the following configuration:
Bandwidth -> 20MHz
MCS -> 7
Aggregation -> 0
PacketSize -> 2048
MaxDistance -> 16000
StepDistance -> 16000
*****

Simulating with: -----
SlotTime -> 107
Aggregation -> 0
PacketSize -> 2048
Distance -> 15400
MaxDistance -> 16000
Injected datarate -> 65000

Checking MAC Parameters:
SlotTime: +107000.0ns
AckTimeout: +184000.0ns
SIFS: +10000.0ns
RIFS: +2000.0ns
EIFS +314000.0ns
AIFSN 2
PIFS +117000.0ns

Flow 0 (10.1.1.2 -> 10.1.1.1)
Tiempo 15.9992 bps
Tiempo2 15
Throughput APP: 6537216 bps
Throughput MAC: 6392318 bps
Flow 1 (10.1.1.1 -> 10.1.1.2)
Tiempo 15.9963 bps
Tiempo2 15
Throughput APP: 6382114 bps
Throughput MAC/IP: 6241777 bps
*****
Latency: 1030230 us
Jitter: 1857 us
Losses: 18574 packets
Total Throughput Mac: 12634095 bps
Total Throughput App: 12919330 bps
Done...
*****

Throughput values are in:
802.11n_OfdmRate65MbpsBW20MHzAggregac0bytes_throguhput.ods
Delay values are in:
802.11n_OfdmRate65MbpsBW20MHzAggregac0bytes_delay.ods
Jitter values are in:
802.11n_OfdmRate65MbpsBW20MHzAggregac0bytes_jitter.ods
Losses values are in:
802.11n_OfdmRate65MbpsBW20MHzAggregac0bytes_losses.ods
DL Pcap traces are in: wifi-simple-infra-0-0.pcap
UL Pcap traces are in: wifi-simple-infra-1-0.pcap
root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22#
```

Figura 38: Resultados de la Simulación del enlace UTM-Lodana.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.2.5.1. MEDICIÓN DEL THROUGHPUT DEL ENLACE

Se llama throughput a la cantidad de datos que son transmitidos hacia o desde algún punto del enlace de la red en este caso WiFi de largo alcance, o también al volumen de información que fluye en las redes de datos, en los cuales el rendimiento es medido en unidades como accesos en tiempo. Con este parámetro se puede ver el rendimiento final de una conexión.

Se analiza el rendimiento con un tamaño de paquete de 1500 bytes y con la variación de la Variable de Esquema de Modulación y Codificación (MCS) desde 0 hasta 11, la

Figura 39 muestra el comportamiento del rendimiento del enlace en las diferentes pruebas, cuya variación es el valor de MCS.

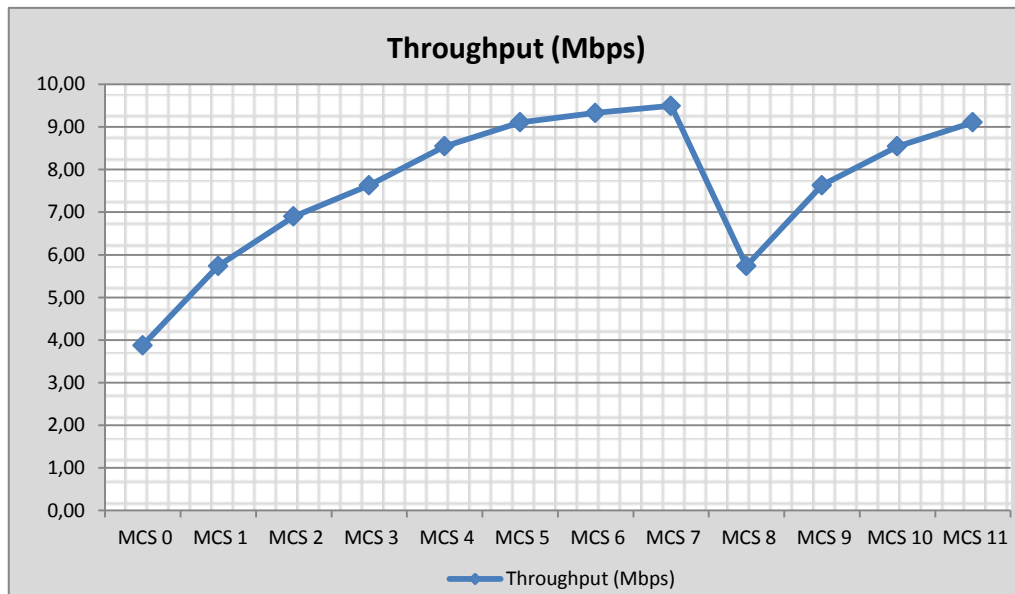


Figura 39: Throughput del enlace UTM-Lodana con paquete de 1500 bytes.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

De igual forma se modelo la simulación con un tamaño de paquete de 2048 bytes, y se obtuvo mejor rendimiento como se podrá notar en la Figura 40, sobre todo en la MCS 7 se obtiene un rendimiento sobre los 12 Mbps.

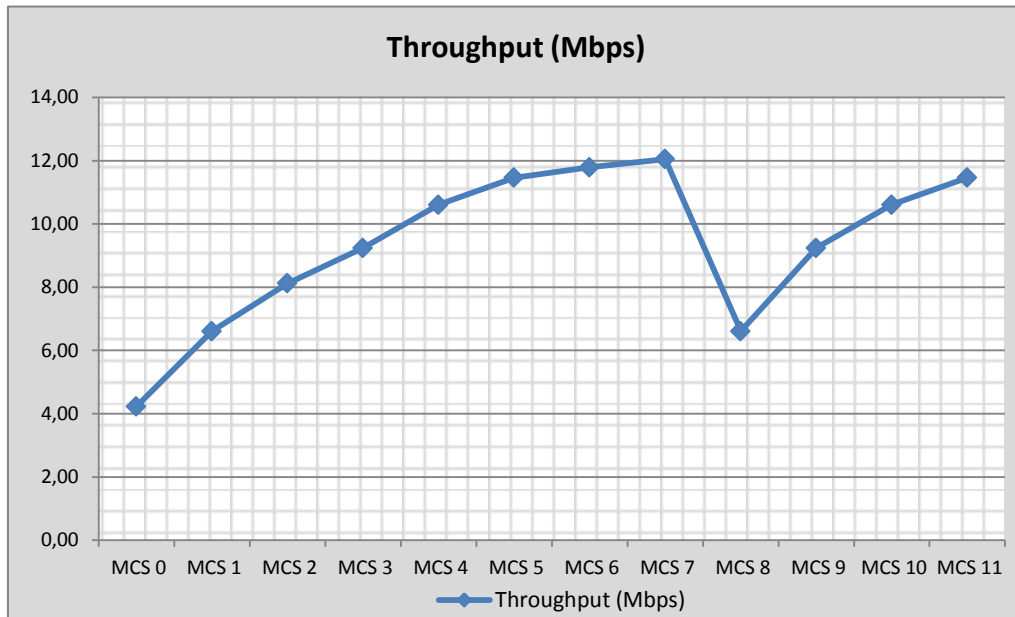


Figura 40: Throughput del enlace UTM-Lodana con paquete de 2048 bytes.

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.2.5.2. LATENCIA EN LA SIMULACIÓN DEL ENLACE.

La latencia es el tiempo que un paquete necesita para ser transmitido desde el nodo emisor al nodo receptor. De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 38 se presentan ciertos datos, obtenidos en la simulación un extracto se modela en la Tabla 11.

Tabla 11: Latencia en la simulación del enlace UTM-Lodana.

Enlace	Distancia del Enlace	Tamaño del Paquete (bytes)	Tiempo Simulación (s)	Latencia (us)
UTM-Lodana	15500	2048	15	1038230
		1500	15	985653

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.2.5.3. JITTER EN LA SIMULACIÓN DEL ENLACE

Es la variación del retardo que tiene un paquete con respecto a otro, desde que se envía del nodo origen al nodo destino. En la simulación se obtuvo un valor en microsegundos aceptable por la distancia existente, si el tamaño del paquete aumenta el

Jitter incrementa, este es un comportamiento normal en un proceso de transmisión de archivos en un enlace inalámbrico, sobre todo de larga distancia. La tabla 12 modela los valores del Jitter variando el tamaño del paquete en cada simulación.

Tabla 12: Jitter en la simulación del enlace UTM-Lodana.

Enlace	Distancia del Enlace (m)	Tamaño del Paquete (bytes)	Tiempo Simulación (s)	Jitter (us)
UTM-Lodana	15500	2048	15	1857
		1500	15	1758

Elaborador Por: Autora de Tesis.

5.6.2.5.4. PAQUETES PERDIDOS EN LA SIMULACIÓN DEL ENLACE.

Los paquetes perdidos que se presentan en la simulación del enlace se muestran en la Tabla 13, la inyección de DataRate es de 65000.

Tabla 13: Paquetes Perdidos en la simulación del enlace UTM-Lodana.

Enlace	Distancia del Enlace (m)	Tamaño del Paquete (bytes)	Tiempo Simulación (s)	Paquetes Perdidos
UTM-Lodana	15500	2048	15	18574
		1500	15	27012

Elaborador Por: Autora de Tesis.

Luego de haber realizado un análisis de la información obtenida en la simulación del enlace Wi-Fi de largo alcance, se llega a la conclusión de que la productividad de los enlaces mediante la simulación en Ns3, satisface con la proyección de la capacidad de transmisión del diseño de la red WiFi, con lo cual se demostró que la propuesta posee viabilidad en su diseño, sabiendo que se simuló con un canal de 20 MHz con el estándar IEEE 802.11n, es decir que con un canal de 40 MHz y MIMO mejorará notablemente el Throughput del este enlace; en la práctica es posible este comportamiento, ya que equipos de comunicaciones inalámbricos propietarios como Ubiquiti, MiKrotik, otros; ofrecen notables rendimiento con la inclusión del protocolo de censado TDMA.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

El autor de la tesis concluye que:

- ❖ La implementación de la tecnología WiFi para largas distancias, otorga la posibilidad de cambiar los parámetros de la capa MAC (ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime) para el envío y recepción de datos a las que permite el estándar original 802.11 en sus diferentes versiones.
- ❖ Las redes WiFi para largas distancias que aplican la técnica TDMA, obtienen características y controles necesarios para ofrecer un alto rendimiento y soportar enlaces hasta de 30km o más, demostrando ser una solución rentable para la entrega de servicios de red para zonas rurales.
- ❖ El actual enlace de comunicaciones entre la dirección de tecnologías de la información UTM y el campus Lodana, muestra una capacidad de transmisión eficiente, esto se lo pudo determinar a través del análisis de la red utilizando el software Wireshark.
- ❖ El diseño de la red WiFi de largo alcance se realizó con el software Radio-Mobile y el complemento de Google Earth, en los cuales se definió la ubicación de las antenas y equipos tecnológicos necesarios para la realizar la simulación.
- ❖ La simulación en el software Ns3 mostró que el rendimiento del enlace UTM-LODANA, satisface con la proyección de la capacidad de transmisión del diseño de la red WiFi, lo que evidenció que la implantación posee viabilidad en su diseño,

6.2. RECOMENDACIONES

- ✓ La implementación a futuro de esta tesis, beneficiará a la Universidad Técnica de Manabí de manera económica y técnica proporcionando un enlace de datos alternativo entre la dirección TI y el campus Lodana.
- ✓ Se deberá establecer parámetros, mecanismos, políticas de seguridad y de calidad de servicio para garantizar el acceso seguro y eficaz a todos los servicios tecnológicos que brinda la Alma Mater.
- ✓ Para mejorar notablemente el Throughput de este enlace se deberá utilizar un canal de 40 MHz y tecnología MIMO; en la práctica es posible este comportamiento, ya que los equipos de comunicaciones inalámbricos propietarios como Ubiquiti, MiKrotik, otros; ofrecen mayor rendimiento con la inclusión del protocolo de censado TDMA.
- ✓ En los enlaces a larga distancia, se sugiere utilizar la banda de 2.4GHz si el espectro no está saturado porque existe menor atenuación en el aire, sin embargo en la simulación se utilizó la frecuencia 5.8 Ghz y el protocolo de censado al medio TDMA, además de los equipos de comunicación inalámbrica Ubiquiti que utilizan esta tecnología, obteniendo resultados óptimos.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Abad Domingo, A. (2012). En *Redes Locales* (pág. 11). Madrid: McGraw-Hill España.
- ✓ Alcivar Cedeño, A. K. (2014). *Caracterización de un radioenlace entre el campus Portoviejo de la UTM y su extensión en Bahía de Caráquez*. Guayaquil.
- ✓ Bhaskaran, R., & Kameswari, C. (2007). Experiences in using WiFi for Rural Internet in India. *Indian Institute of Technology, Kanpur*, 1-3.
- ✓ Castaños Ribes, R. J., & López Fernández, J. (2013). En *Redes Locales* (págs. 251-252). Madrid: Macmillan Iberia, S.A.
- ✓ DadaabNet Project Report . (Marzo de 2014). *Inveneo*. Obtenido de <http://www.inveneo.org/2014/04/dadaabnet-project-report/>
- ✓ Dhekne et al. . (2009). En N. U. Ashutosh Dhekne, *Implementation and Evaluation of a TDMA MAC for WiFibased*. NSDR.
- ✓ Dr. Rashid A. Saeed et al. (1 de Diciembre de 2009). *INTECH*. Obtenido de WiMAX-WiFi Synergy for Next Generation Heterogynous Network: <http://www.intechopen.com/books/wimax-new-developments/wimax-wifi-synergy-for-next-generation-heterogynous-network>
- ✓ Dutta, P. et al. (2008). A New Channel Assignment Mechanism for Rural. En S. J. Partha Dutta. Conference on Computer Communications.
- ✓ Education, T. 2. (11 de Febrero de 2011). *Inveneo*. Obtenido de <http://www.inveneo.org/projects/tanzania-21st-centry-education/>

- ✓ Haiti WiFi Networks – Communciations for Relief. (29 de Febrero de 2010). *Inveneo*. Obtenido de <http://www.inveneo.org/2010/01/haiti-wifi-networks-communciations-for-relief/>

- ✓ Naranja Cobo, F. (2012). Diseño de Redes Inalámbricas como Infraestructura Tecnológica para Facilitar el Acceso a Internet en Entorno Rurales. *CienciAmérica*, 86.

- ✓ Ns-3. (2015). *Ns-3*. Obtenido de <https://www.nsnam.org/>

- ✓ Oliva Alonso, & et al. (2007). En *Sistemas de Cableado Estructurado* (pág. 156). Madrid: Alfaomega Grupo Editor.

- ✓ Peñarrieta Bravo, D. F. (2015). *Diseño una red WiFi de largo alcance, a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de internet de banda ancha, en los sectores más poblados de la zona Rural del Cantón Junín*. Quito.

- ✓ Pontificia Universidad Católica del Perú. (2008). *Redes Inalámbricas para zonas rurales*. Lima: GTR- PUCP.

- ✓ Proyecto Nepal. (2014). *Nepal Wireless*. Obtenido de http://www.nepalwireless.net/index.php?option=com_

- ✓ Proyecto Tucan3G. (s.f.). *Tucan3G*. Obtenido de Wireless technologies for isolated rural communities in developing countries based on cellular 3G femtocell deployments: <http://www.ict-tucan3g.eu/>

- ✓ Roger Coudé. (2016). *Radio Mobile*. Obtenido de Radio-Mobile-RF propagation simulation software.: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

- ✓ Ubiquiti. (2016). *Wireless Tigre*. Obtenido de <http://wirelesstigre.com/categoria-producto/ubiquiti/>
- ✓ WNDW. (2013). *Redes Inalámbricos en los Países en Desarrollo*. Obtenido de <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>